

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-052270

(43)Date of publication of application : 25.02.1994

---

(51)Int.Cl. G06F 15/60

// H01L 21/302

---

(21)Application number : 05-121656 (71)Applicant : NIPPON TELEGR &  
TELEPH CORP <NTT>  
INTEL CORP

(22)Date of filing : 24.05.1993 (72)Inventor : TAZAWA SATOSHI  
SAITO KAZUYUKI  
LEON FRANCISCO A

---

(30)Priority

Priority number : 92 904005 Priority date : 24.06.1992 Priority country : US

---

(54) METHOD FOR GENERATING TRIANGULAR GRID

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a three-dimensional topography simulation tool cancelling the limit of a cumulative parallel sweeping method by expressing a solid surface by means of a balanced triangular grid.

CONSTITUTION: In an appropriate method for generating a triangular face from

a polygon, an internal loop forming a hole within a solid is deleted first. Next, a new edge is inserted between the vertex of the polygonal surface of a processing object and the vertex after the next of a vertex in question at the time of searching the polygon along the loop. It is judged that whether this new edge exists inside of the polygon or crosses with a boundary defined by the polygonal surface. When the new edge exists outside of the polygon or crosses with the boundary, it is abandoned and another new edge is inserted. When the new edge exists inside of the boundary of the polygon, the new edge is added to the polygon. Then the polygonal face is divided into triangular faces. When all the faces are made triangular, whether the sizes of the triangles are uniform or not is grid-adjusted.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.04.2000

[Date of sending the examiner's  
decision of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3365566

[Date of registration] 01.11.2002

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

---

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

[Claim 1] In the approach of generating the triangle grid expression of the surface which has a polygon side a) The step which supplies a polygon side to a triangle-ized means, and the step which removes the hole of the b aforementioned polygon side, c) The step in which the temporary side between the 1st and 2nd top-most vertices of said polygon side is located, d) The step which examines the invalid conditions of said temporary side, and the step which cancels said temporary side when e invalid condition exists, f) The step which adds said temporary side to said polygon side when an invalid condition does not exist, g) Approach characterized by having the step which takes out the triangle side in which said 1st temporary side is from said polygon, the step which adds the h aforementioned triangle side to said triangle grid, and the step which redefines the i aforementioned polygon side except for said triangle side.

[Claim 2] The step which a polygon side is expressed as an outer loop, and a hole is expressed as an inner loop, and removes said hole from said polygon side is an approach according to claim 1 characterized by having further the step which inserts the new side between outer loop top-most vertices and inner-loop top-most vertices.

[Claim 3] Said invalid condition is an approach according to claim 2 characterized by including the 1st condition which has said new side in the outside of a polygon side boundary, and the 2nd condition to which said new side intersects said polygon side boundary.

[Claim 4] The approach according to claim 3 characterized by having further the step which generates a triangle within the limits of the size which adjusted said triangle grid and was specified.

[Claim 5] Said step which generates a triangle within the limits of the size which

adjusted said triangle grid and was specified a) The step which identifies the long side where the die length exceeds die-length X defined beforehand, b) -- the step which inserts new top-most vertices in the middle point of said long side, and c -- with said new top-most vertices The step which adds the 1st new side between the 1st top-most vertices corresponding to the 1st triangle relevant to said long side, d) Approach according to claim 4 characterized by having further the step which adds the 2nd new side between said new top-most vertices and the 2nd top-most vertices corresponding to the 2nd triangle relevant to said long side.

[Claim 6] Said step which generates a triangle within the limits of the size which adjusted said triangle grid and was specified a) -- the step which identifies the short side which does not exceed die-length Y defined beforehand, and b -- the step which chooses the location of the top-most vertices moved along said short side, and c -- by being the side which adjoined said short side and removing the side With the step which identifies the side which maintains the configuration of the original configuration best, d migration The step which inserts the top-most vertices carried out in said moved top-most-vertices location, e) Approach according to claim 5 characterized by having deleted said short side and having further the step which makes all the sides that adjoin said short side adjoin said moved top-most vertices, and the step which deletes the side identified at the f step c.

[Claim 7] Said step which generates a triangle within the limits of the size which adjusted said triangle grid and was specified a) The step which identifies the short triangle which has the height which does not exceed height Z, b) The step in which the side which adjoins the smallest include angle of said short triangle is identified, and said side includes the 1st top-most vertices of said short triangle, and the 2nd top-most vertices of said short triangle, c) -- the step which deletes said side identified at step b, and d -- the approach according to claim 6 characterized by having further the step which inserts the side between the top-most vertices where an adjoining-3rd top-most vertices of said short triangle triangle corresponds.



[Claim 8] Said die-length X is an approach according to claim 5 characterized by being 160% of the certified value of the die length of the side of the triangle generated.

[Claim 9] Said die-length Y is an approach according to claim 6 characterized by being 60% of the certified value of the die length of the side of the triangle generated.

[Claim 10] Said height Z is an approach according to claim 7 characterized by being 28% of the certified value of the die length of the side of the triangle generated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the field of CAD (Computer Aided Design), and relates to the approach of simulating manufacture of an integrated circuit especially using three-dimension solid modeling.

[0002] In addition, when description of this specification refers to the number of the United States patent application concerned based on the publication of the specification of the basic slack United States patent application 07/No. 904,005 of the priority of this application, the written contents of the specification of the United States patent application concerned shall constitute some of these specifications.

[0003]

[Description of the Prior Art] Generally the computer simulation of integrated-circuit manufacture is called the process simulation. A process simulation is a means which is worthy when designing and manufacturing an integrated circuit. This has an advantage of reduction of saving of a design time, an experiment,

and a manufacturing cost. The process simulation is accompanied by the activity of determining the effectiveness to the semi-conductor wafer of a series of deposition (that is, deposit the matter) in a manufacture process, etching (that is, remove the matter), lithography, and other process steps, in fact. A process simulation will be divided roughly into topography simulation and a bulk process simulation if it says roughly. Topography simulation can be used with deposition, etching, and a process step like lithography, and is mainly concerned with form status change-ization of the matter containing a semi-conductor wafer. A bulk process simulation can be used with diffusion, an ion implantation, and the process like oxidation, and is mainly related with redistribution of the dopant impurity in the inside of a semiconductor device. Oxidation is a middle matter which influences a configuration and distribution of a dopant impurity in fact.

[0004] One of the application of a process simulation is \*\*\*\*\* (ing) the computer expression of wafer structure and enabling it to use it by other analysis programs. Such an analysis program can calculate the properties of a component, such as an electrical property, the temperature characteristic, and a mechanical characteristic, by this.

[0005] In the design of a semiconductor device, what operates a component correctly is the configuration of structure and presentation which were acquired. It is effective that each class containing a semi-conductor wafer can be seen in a manufacture process, when identifying an inconvenient configuration and an inconvenient result. For example, when etching of a certain layer is too deep and exposes the following layer, viewing can detect this un-arranging easily. By this, it is expensive and other wafer manufactures and the inspection approach of time amount requiring can be avoided. Computer simulation enables it to see what is seen only with an electron microscope moreover.

[0006] Topography simulation will become complicated according to the fact that various configurations arise in each step of a different process technique.

Drawing 1 (a) - (c) shows various configurations made from a concave convex interface. As for a convex interface, what has the larger surface outside a field

than 180 degrees is said. As for a concave surface interface, what has the surface smaller than 180 degrees outside a field is said. If drawing 1 (a) is referred to, the Hara matter which has a configuration 102 will serve as a configuration 101 through an isotropic etching process step. The top-most vertices 103 and 104 of a configuration 102 are located in the concave surface crossover of two fields. Notice these fields about making the angle (namely, acute angle) of 90 degrees at top-most vertices 103 and 104. As a configuration 101 shows, the interface 105 and 106 made as a result of this concave surface interface's passing through an isotropic etching process, i.e., points, is round. However, it turns out that the edge is maintained 90 degrees (acute angle) in the convex crossings 107 and 108 of a configuration 102 as compared with those corresponding points 109 and 110 of a configuration 101.

[0007] Drawing 1 (b) shows form status change-ization in an isotropic deposition process step. The top-most vertices 125 and 126 of a configuration 122 are located in the concave surface crossover of two fields. Notice these fields about making the angle (namely, acute angle) of 90 degrees at top-most vertices 125 and 126. As a configuration 121 shows, the interface 123 and 124 made as a result of this concave surface interface's passing through an isotropic deposition process, i.e., points, is maintaining the edge 90 degrees (acute angle). However, it turns out that it becomes a round edge about the convex crossings 129 and 130 as compared with those corresponding points 127 and 128.

[0008] Drawing 1 (c) shows the configuration made as a result of sputter etching. It depends for an etch rate on the sense of the surface to the direction of a locus of an etching particle (etching particle) in sputter etching. Usually in 45 to 80 degrees, an etch rate serves as [ the sense of surface ] max. Aside from it, the matter with the new configuration 142 is obtained by the sputter etching to the matter with a configuration 141. Especially an interesting point is the fact that fields 143 and 144 are bent and become a little round so that fields 145 and 146 may show. This is based on the angular dependence of the etch rate of the etching particle equivalent to each part of a field 141. By this, the configuration

142 as shown in drawing is made.

[0009] Other conditions of the wafer which must be simulated correctly are voids (void). A void is generated in a deposition process step. This kind of void is shown in drawing 1 (d). In drawing 1 (d), the metal line 150 should be separated from the following layer by oxide film deposition. Although this deposition is continuously performed over several layers, these layers are shown as 151, 152 and 153 here. A void 154 is made among layers 151 and 152. It is desirable for there to be no void into a wafer. For example, in a manufacture process, a void becomes a source of gas are recording, and has a possibility that the back may be opened wide and it may destroy some wafers.

[0010] A two-dimensional process simulation is common knowledge technically, and is used widely. As a two-dimensional process-simulation tool by this kind of conventional technique, there are SUPREM (available from Stanford University) and SAMPLE (available from the Berkeley school of a cull FORUNIA university). However, a two-dimensional process simulation does not give all desired simulation results. For example, it has turned out that the two-dimensional process simulator lacks in the capacity which predicts correctly a certain kind of configuration (features), for example, the surrounding form of a hole, and the crossing and that configuration of a metal line as the miniaturization of a circuit progresses. In order to obtain a more exact and perfect simulation result, a three-dimension process simulation is desirable.

[0011] A three-dimension process-simulation tool is common knowledge technically. one of such the three-dimension process-simulation tools -- Oyster system it is . Oyster system the process-simulation tool currently internally used by IBM -- it is -- a title -- " -- OYSTER : -- research [ of the integrated circuit as the three-dimensional structure ]", G.M.Koppelman and M.A.Wesley and IBM Journal of Research and development 276, and NO. -- 2 and 149-163 Page (1983) \*\* -- it is explained to the report to say in detail. The Oyster system is based on the more general concept of solid modeling. In the Oyster system, the geometric model expresses the matter including the configuration of a wafer as solid. A

configuration can be changed by using a geometric operation (namely, Boolean set operation). An Oyster system is constituted on the basis of the common solid-modeling tool which gives the elementary operation and DS for simulation.

[0012] An Oyster system is an accumulation advancing-side-by-side sweep (Cumulative Translational Sweep: CTS) to a \*\*\*\*\* sake about a geometric object. The theoretical configuration is used. CTS is used combining a Boolean set operation, makes it become thin with \*\*\*\*\* on the border area of a geometric object, and simulates \*\*. This technique (aspect) of an Oyster system is called the CTS method, and is explained to the publication of the following titles in detail. "Shaping Geometric Objects by Cumulative Translation Sweeps" and R.C.Evans, G.Koppelman, V.T.Rajan, IBM Journal of Research and Development, pgs.343-360, Volume 31, No.3, and May 1987, and United States patent No.4, and 785 and 399, as "Shaping Geometric Objects by Cumulative Translational Sweeps" \*\*\*\* was carried out The CTS method calculates on the border area of a polyhedron expression of a solid object using a shaping polyhedron (or shaping object). Being required by the CTS method is the point of forming a polyhedron from the poly TOPU family of zone TOPU. Generally, the CTS method gives the surface migration which used the following steps.

[0013] 1. (a shaping polyhedron is formed) The set of an advancing-side-by-side vector (translation vectors) is defined. These vectors show the property of desired surface migration.

[0014] 2. In accordance with an advancing-side-by-side vector, carry out the sweep of the original object and build the middle solid containing a original object. This becomes a new solid when there is only one advancing-side-by-side vector.

[0015] 3. Carry out the sweep of the front middle solid in accordance with the remaining advancing-side-by-side vectors.

[0016] The CTS method carries out the sweep of the whole object at once in accordance with an advancing-side-by-side vector. For this reason, the CTS method does not give the simulation of the process step accompanied by the etch rate or deposition rate which change for every location. a location -- a

changing example of a process step is spatter deposition.

[0017]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] It is desirable from the ability to use the three-dimension solid-modeling system of general marketing to use solid-modeling approach to three-dimension topography simulation. However, the solid data representation in such a system could not say it as an ideal thing, in order to create and process structure required for exact and effective topography simulation. Generally especially the DS for expressing the adjoining matter cannot be used.

[0018] (It occurs in etching or the simulation of deposition) The current technique of treating surface deformation cannot be said as an ideal thing, either. For example, since a solid is expressed, a boundary representation model is often used. Such an expression is not helpful when the solid boundary crosses (i.e., when an expression serves as a self-crossover). Also when the reconstitution of this expression is carried out into a process step, it may stop being useful. It becomes impossible to make an exact simulation result, and will stop having semantics in processing beyond it by the solid-modeling system with such an invalid expression.

[0019] Several sorts of other modeling techniques for three-dimension topography simulation are common knowledge technically. That is, they are a ray-tracing model, a cel model, a network model, a diffusion model, and a string model. Since the ray-tracing model is only used for the now phot lithography processing step, the detail is omitted here.

[0020] The cel model is used in three-dimension deposition and etching simulation. However, it turns out that a cel model cannot fully express a curved surface. A network model is amelioration of a cel model and each point of surface is defined on each edge of a surface tetrahedron cel. It is a concentration border line (concentration contour) for a diffusion model being also amelioration of a cel model and defining surface too. It is used. However, the network model and the diffusion model are understood that it is difficult to treat correctly the curved

surface produced in a process step like a cel model.

[0021] Although a string model is also excellent approach, invalid self-crossover structure is made in many cases. It is very complicated although the technique which corrects such self-crossover structure is also developed.

[0022] Other consideration matters of a topography simulation tool are the problems of compatibility with other components of a process-simulation environment. As mentioned above, topography simulation is only one component of a process simulation. In order to build the process-simulation environment which harmonized well, a trade-off must be made so that a process-simulation environment may be improved as a whole. Such an improvement seems to spoil one of the components of a process-simulation environment.

[0023] The purpose of this invention is offering the three-dimension topography simulation tool which copes with the limitation of the CTS method. Furthermore, other purposes of this invention are producing the solid expression which harmonizes with other components of a process-simulation environment well.

[0024]

[Means for Solving the Problem] The approach of generating the grid expression of solid surface which could be regular with the three-dimension topography simulation system expressed as the matter showing an object being solid is indicated. In order to make the minimum an error produced in the solid actuation under simulation, it is desirable to express solid surface by the triangle grid which could be regular. Solid surface can be equipped with two or more fields which have the various polygons of the size which is not uniform if a solid is generated first. A configuration is a triangle and the approach concerning this invention generates the grid which could be regular rather than it had the field which has the magnitude within limits defined beforehand.

[0025] As opposed to each polygon side on solid surface the approach of a desirable example The step which removes the hole of the arbitration specified by the polygon side, and the step which places the new side between the 1st and 2nd top-most vertices of the polygon side, The step which cancels the new side

when the new side is located on the outside of the polygon side or the new side intersects the present side of the polygon, The step which adds the new side to the polygon side when there is no new side in the outside of the polygon side, It has the step which identifies the triangle generated by the side where the polygon is new, and the present side, the step which forms a new polygon from the side which generates a triangle, and the step which repeats the above-mentioned step until all polygonal fields are triangle-ized. Once polygonal triangle-ization is completed, a triangle will be adjusted so that it may have only the triangle of uniform magnitude.

[0026]

[Example] The approach of carrying out simulation of the change of the configuration of a VLSI wafer when VLSI (very large scale integration) is manufactured is indicated. Other new modes of the desirable example concerning this invention are described, and the application for patent is carried out by application of a coincidence connection. As application of a coincidence connection "Particle Flux Shadowing For Three-Dimensional Topography Simulation" and "Surface Sweeping Method for Surface Movement In Three-Dimensional Topography Simulation" and "Generalized Solids Modeling For Three-Dimensional Topography Simulation" and "A Method for Accurate Calculation of Vertex Movement for Three-Dimensional Topography Simulation" and "A Method for Efficient Calculation of Vertex Movement for Three-Dimensional Topography Simulation" and "Boolean Trajectory Solid Surface Movement Method" It is. These applications are transferred to the applicant of this invention, although the application number is not attached yet. In the desirable example, isotropy, anisotropy deposition, and an etching process step which are used by manufacture of a semiconductor device are dealt with. Naturally this invention is used for this contractor in the context which manufactures, other products, for example, micro machine. Simulation of the product manufacture process of arbitration can be carried out according to the desirable example concerning this invention using a VLSI type manufacture



technique.

[0027] Next, in order to enable it to fully understand this invention, much specific explanation of the effectiveness of Boolean operation etc. is given in a detail. However, the thing detailed in this way is well-known for this contractor, and, naturally this invention can be carried out for this contractor, without using detailed explanation such especially. In other examples, it was not explained in order for a well-known function, for example, general solid generation, not to make this invention not clear superfluously.

[0028] the outline of the computer system in a suitable example -- the approach of a suitable example can be enforced on the computer system of any marketing, if a three-dimension (three dimension) graphic is supported -- I will come out. IBM Corporation of the IRIS workstation by which this invention is preferably marketed from Silicon Graphics Corporation of California Mountain View, or New York State Armonk from -- it carries out on a microcomputer like the RS/6000 workstation marketed. Of course, this invention can also be carried out also on a multi-user system. However, all of the prices of those machines, a rate, and the advantage and fault on a function will be received in this case.

[0029] If it explains with reference to drawing 2 , the computer system used by the suitable example The processor 202 generally combined with transmission means 201 to transmit information, such as a bus, with the bus 201 in order to process information, Random access memory (RAM) or other storage 203 (generally called the primary storage) which were combined with the bus 201 in order to memorize the information for this processor 202, and an instruction, The read-only memory (ROM) combined with the bus 201 in order to memorize the constant for a processor 202, and an instruction, or other static storage 204, Data storage 207 like the magnetic disk and the magnetic drive which were combined with the bus 201 in order to memorize information and an instruction, The alphabetic-character input units 205, such as a keyboard containing an alphabetic character or other keys combined with the bus 201 in order to transmit information and a select command to a processor 202, In order to transmit

information and a select command to a processor 202 or to control migration of cursor, it has the cursor controllers 206, such as the mouse and trackball which were combined with the bus 201, and a cursor control key, and a display 208. As for this display, what can display the three-dimension graphical image which it is as a result of a process-simulation step is good. Furthermore, it is still more convenient if this system is equipped with a hard copy unit 209 like the printer which gives an informational external copy.

[0030] A processor 202 offers the following functions. Namely, count of a movement vector and a peak shift, a plane advance (advancement), activation of a Boolean set operation, a surface SU1 ping, and triangle-izing (triangulation) And they are a grid adjust and particle flux shadowing count. Data storage 207 offers a means to memorize the expression of an object as a solid model. Such a function and a solid model expression are mentioned later in more detail.

[0031] The suitable example of outline this invention of the topography modeling of a suitable example extends a well-known solid-modeling function, and simulates manufacture of a semiconductor device (namely, process simulation). Solid modeling means a CAD (calculating-machine exchange design) tool traditionally, and a design and assembly of the essential almost static physical structure like a building are made easy. Here, it is applied to the dynamic deformation which solid-modeling technique is extended, answers a certain external stimulus (for example, process step), and is produced in the matter layer in a semi-conductor wafer.

[0032] A general solid modeler usually defines a solid as a set of a structure element. Moreover, a general solid modeler produces a new solid or the redefined solid by combining one or more existing solids. The solid will be redefined by migration of the top-most vertices which define it again. Geometric WorkBench available from Helsinki University of Technology in the suitable example (GWB) It is used as a common solid-modeling tool. However, even if it uses other solid-modeling systems, it does not deviate from the pneumonia and the range of this invention. Anythings can be used if it is the solid-modeler system by

which the object using the description (features) of a boundary representation model is characterized.

[0033] It is not easy to use a well-known solid-modeler system and to simulate manufacture of a semi-conductor wafer. It is because these systems cannot fully simulate two or more matter containing a semi-conductor wafer and cannot describe it. The suitable example is dealing with this problem by filling up the standard DS with which the desirable solid-modeler system was equipped. This is explained further in full detail below. Furthermore, a suitable example generates the data used in order to simulate change of the configuration of a semi-conductor wafer.

[0034] The expression of VLSI structure is shown in drawing 3 (a) as a solid set. Each matter which forms VLSI structure is expressed as solid using the boundary representation model mentioned above. In drawing 3 (a), the 1st object solid 301 expresses the basal layer which consists for example, of a silicon layer, and the 2nd object solid 302 shows the 2nd layer which consists for example, of a diacid-ized silicon layer. The airspace on the surface matter (object solid 302) of the maximum upper layer is also defined as solid. That is, it is the air solid 303. Deformation of the configuration of a wafer is made by performing Boolean operation between the air solids and matter solids which the air solid was changed and changed.

[0035] In order to express the deformation produced to the matter in the manufacture process, a movement vector is calculated about the top-most vertices belonging to an air solid. It will take to down stream processing which changes spatially being performed, and the movement vector of the top-most vertices of an air solid will change. Therefore, an air solid will be deformed by the movement vector. The calculus of the movement vector about top-most vertices is explained further in full detail later. A matter object solid is redefined after this processing using the Boolean set operation mentioned above.

[0036] Drawing 3 (b) is the outline of the system structure of a suitable example. The front end user interface 321 offers a means by which a user communicates

with operating software, and this invention is materialized by this software. The front end user interface 321 is for providing a user with the role (features) of an operating system or application software.

[0037] The solid-modeler system 322 is equipped with the basic function used during topography simulation. A utility, DS, and a Boolean set operation are included in such a function. Notice a GWB utility and a Boolean set operation about being premised on a boundary representation model. For this reason, even if it can fill up boundary representation model DS, that configuration (organization) is unchangeable. Boundary representation model DS and a Boolean set operation are explained further in full detail later.

[0038] The surface migration module 323, triangle-izing and the grid-adjust module 324, the flux shadowing model 325, and the graphic module 326 are placed between the user interface 321 and the solid-modeler system 322. The surface migration module 323 incorporates the input given by the user, in order to calculate a movement vector. A movement vector is used for transforming the object solid which simulates each processing step. Solid surface migration is explained further in full detail later. Triangle-izing and the grid-adjust module 324 are for changing the form of the polygon which constitutes one of the faces of an object solid. Each face of the object solid in a suitable example consists of triangles so that it may be explained in full detail later. The flux shadowing module 325 is equipped with the specific function used for calculating a movement vector. The graphic module 326 is equipped with the basic graphics routine for displaying the last structure acquired in the simulation of a process step.

[0039] Drawing 4 shows the flow of the topography simulator of a suitable example of operation. Note that this is repeat processing in a suitable example. Therefore, activation of the simulation of a process performs it repeatedly with a predetermined time interval (occurring in a time stepped fashion). First, the model (namely, solid structure) of a wafer is given at step 401. A model is given by either of two kinds of approaches. When structure is already produced, the

existing structure is loaded in a computer memory. If the existing structure is two-dimensional, it will receive conversion to the three-dimensional structure first.

The conversion to a three dimension from such two-dimensional is well-known technically. When solid model structure is not produced yet, a three-dimension solid model is produced. The first solid model structure is produced by the utility which it had by the solid-modeler system.

[0040] Since each face of structure must consist of triangles, the triangle-ized step 402 is performed. Moreover, in order to realize precision (accuracy and precision) demanded, since a triangle must be specific magnitude, a grid adjust is performed at step 403.

[0041] And the class of process is identified and the class of Boolean operation which should be performed by it is determined. As for the decision of being a deposition process step, a process step is performed at step 404. When a process step is not a deposition process step, it is an etching process, and in this case, in step 405, a original air solid is transformed and a new air solid is produced. Subsequently, in step 406a, a Boolean set difference operation is performed between the newly produced air solid and a matter solid. Moreover, in step 406b, it is determined whether to be the synchronization step of deposition and etching of the process step by which current activation is carried out. If it is the synchronization process step of deposition and etching, the deposition section of this process step will be performed at step 408. If it is not the synchronization process step of deposition and etching, the new solid structure of a wafer will be expressed as step 412. Subsequently, it is determined at step 413 whether the last time step was performed. If it is the last time step, the simulation of this process step will be ended.

[0042] When this process step is deposition, at step 407, a original air solid is transformed and a new air solid is produced. By deposition and etching, air solid deformation should differ and, moreover, notice this deformation about it being peculiar to the process step under activation. make it any -- once a new air solid is produced, in step 408, a Boolean set difference operation will be performed

between a original air solid and a new air solid, and an additional matter solid will be made. Subsequently, it is determined at step 409 whether the matter solid of this addition is the deposition of the new matter. If it puts in another way when it is not the deposition of the new matter, when the matter of the existing maximum upper layer has accumulated further, in step 410, a Boolean set sum operation is performed between a original air solid and the Hara matter solid. Once this is completed, the time step of a new solid will be expressed as step 412. Moreover, it is tested at step 413 whether it is the last time step.

[0043] When deposition is the deposition of the new matter, an additional matter solid is changed into a new matter solid in step 411. The time step of a new solid is expressed as step 412 like a front. Moreover, the test of being the last time step is performed at step 413.

[0044] A Boolean set operation Boolean set operation is used for producing a new solid or redefining the existing solid based on the relation between two existing solids. Such a Boolean set operation is Mantyla published from Computer Science Press in 1988. Work "An Introduction to Solid Modeling" It is indicated. Drawing 5 (a) - (c) illustrates an operation of the Boolean set operation to one pair of solids in a suitable example. Drawing 5 (a) Although two-dimensional has shown - (c), probably, the same Boolean set operation of act [ to the three-dimension solid of an arbitration configuration ] will be clear to this contractor. Probably, such a Boolean set operation does not need to explain how the function is performed, since it is known technically. Rather, it is those effectiveness that it is interested. However, be careful of the following thing in this suitable example. That is, the definition of a original object solid is whether it is saved or canceled after activation of Boolean operation. In the suitable example, in a certain case, a original object is canceled and "is transformed" by one of the matter solids. That is, it is redefined as a newly produced solid. In other cases, the completely new solid matter is produced.

[0045] Drawing 5 (a) has illustrated the sum operation. A solid as solid 501 and A, and solid 502 and B combined by the sum operation and shown by 503 and C is

redefined and produced. In a sum operation, a result solid consists of all the area defined by solid 501, A, and 502 and B. Redefined solid 503 and C are single solids which occupy the same space.

[0046] Drawing 5 (b) has illustrated the product operation. When the product of solid 501 and A, and solid 502 and B is taken, the result is redefined solid 504 and D. A product operation makes the redefined solid which consists only of a point common to solid 501 and A, and 502 and B.

[0047] Drawing 5 (c) has illustrated the Boolean difference operation. When the Boolean difference of solid 501 and A to solid 502 and B is taken, redefined solid 505 and E are the area of solid 501 and A, and is solid 502 and B, and a part that is not common.

[0048] As drawing 4 said by the way, the suitable simulation step of an example consists of assembly of an air solid, and combination of the air solid and one or more matter object solids using the Boolean set operation performed by continuing at it.

[0049] solid internal representation and DS -- the suitable matter and suitable air solid of an example are expressed as a polyhedron. Expressing a solid as a polyhedron is already known for the technique of 3D-Graphics. A polyhedron expression is used because it is equipped with sufficient information over hidden surface elimination or a function like shadowing. A polyhedron expression is usually made from the set of a two-dimensional polygon. There, one or more polygons constitute the face of a polyhedron.

[0050] Within the system of a suitable example, a polyhedron is expressed using a boundary representation model. The boundary representation model used in the suitable example is Mantyla which was called the half edge model and published from Computer Science Press in 1988. Work "An Introduction to Solid Modeling" It is explained (the definition of the master data structure by C program language is 163-170 it is written to the page). Anyway, drawing 6 has illustrated the solid master data structure in a suitable example, and the escape of master data structure. The object is defined as a hierarchy of a structure element. The

basic structure element defined by the suitable example includes the solid structure 601, the face structure 602, the edge structure 603, the top-most-vertices structure 604, loop structure 605, and the half edge structure 606. The solid structure 601 is mainly an inlet port to other structure elements. This contains a solid identifier and two or more pointers. These pointers have pointed out the list of fundamental structure elements which define a solid. Notice a pointer about it being the well-known data type used in order to refer to data. Therefore, probably, the explanation beyond this about a pointer will be unnecessary.

[0051] To each solid, two or more face structure elements will be defined. The face structure 602 is a double link. (doubly linked list) It is constituted as a list carried out. The face structure 602 contains the pointer to solid structure, the outer loop, the front face, degree face, and the pointer to a loop-formation list. An outer loop defines the outside boundary of face structure. Mantyla Face structure is filled up so that a pointer 617 may be included, as it defines as reference. A pointer 617 points out the contiguity face structure 609 of a contiguity solid. the pointer with which the contiguity face structure 609 points out the face structure 602 again -- \*\*\*\* -- note that it is. This kind of correspondence face is produced, for example, when the deposit of a certain matter is carried out on other matter.

[0052] The edge structure 603 contains the pointer to the half edge structure 606 and the contiguity edge structure 610. Notice one edge about consisting of two half edges. An assumption of the edge between top-most vertices A and B defines the 1st half edge as an edge which runs to B from A. The 2nd half edge is defined as an edge which runs to A from B. The need of distinguishing the class of half edge will become clearer by explaining a loop formation. The contiguity edge structure list 610 is a list of contiguity edges in a contiguity solid, and the usage is similar to the contiguity face structure 609.

[0053] The top-most-vertices structure 604 includes the coordinate of the top-most-vertices point in a certain system of coordinates and the pointer which points out the half edge (top-most vertices are the endpoint) corresponding to it,



degree top-most vertices, and a tip point. It is supplied so that the top-most-vertices structure 604 as well as the edge structure 603 may contain the pointer 616 which points out the adjoining top-most-vertices structure list 607. The adjoining top-most-vertices structure list 607 is a list of solid identifiers corresponding to the top-most-vertices point and it.

[0054] Loop structure 605 is equipped with the face including the pointer to the list of half edges, a last loop formation, degree loop formation, and a loop formation. Two kinds of loop formations exist. They are an inner loop and an outer loop. As mentioned above, an outer loop defines the outside boundary of a face. An outer loop is a list of half edges which define an outer loop clockwise. An inner loop defines the hole in a face. An inner loop is a list of half edges which define an inner loop counterclockwise. A loop formation is maintained as a double linked list so that clearly from the contents of loop structure. By this, crossing in a list (traverse) becomes easy.

[0055] The half edge structure 606 contains the loop formation in which the pointer, the initiation edge, and the half edge concerned to a parent edge are contained, the former half edge, and the half [ degree ] edge. Half edge structure is also maintained as a double linked list.

[0056] Finally, the matter information structure 608 includes the information used for opting for solid object surface migration. The solid structure 601 contains the pointer 615 to the matter information structure 608. It relates to count of a movement vector and the need for feature-parameter information and use are further explained to a detail.

[0057] The added structure 608,609 and the class of pointer 615,617 do not have any effect on the operation of solid modeling, either. That is because a pointer can carry out regeneration after deformation count is performed. Therefore, it can use, without changing a well-known solid-modeling operation.

[0058] Example drawing 7 (a) of many matter / multilayer solid structure and (b) have illustrated many matter / multilayer solid structure. Drawing 7 (a) shows the structure where all matter that is produced with a typical wafer was connected. In

drawing 7 (a), the silicon solid 701 is a basal layer. The number of oxidizing zones 702 is the 2nd, and the hole for the metal layer 704 to contact the silicon layer 701 is demarcated by this layer. Finally, the air layer 705 is the maximum upper layer of this structure. Although it becomes still clearer by drawing 7 (b), a matter layer may consist of one or more solids. Here, an oxidizing zone 702 consists of two or more solids. The example of structure of a semi-conductor wafer is shown in drawing 7 (b). Drawing 7 (b) shows the relation between the contiguity matter given by the DS of a suitable example. The air layer 705 defines the face 706 which adjoins the face 707 of the metal layer 704 as the 1st. Furthermore, the air layer 705 defines the top-most vertices 708 contiguous to the top-most vertices 709 defined by the metal layer 704. Since each of such structures are three dimensions, it should also be careful of a certain point that one top-most vertices have two or more adjoining top-most vertices.

[0059] Moreover, notice the contiguity face and adjoining top-most vertices of the air layer 705 and the metal layer 704 also about the respectively same thing. It is required for an easy \*\*\*\* sake without conflict [ explanation / of many matter / multilayer structure ] for a contiguity face and adjoining top-most vertices to be the same respectively. This will become clear easily, if an air solid is cautious of having obeyed the same request. Thus, uniform structure is compared when Boolean operation is performed.

[0060] If a new matter solid is added, a new face must be added to the solid which has been existing from before. A multi-matter boundary depends this on the request which also says the same face structure suddenly. Furthermore, when a new matter solid laps with the existing solid, this new matter solid must follow the existing solid. That is, priority is given to the existing solid. This is shown in drawing 8 (a). Here, the first matter solid 710, for example, a photoresist, is added to the existing substrate 711. After the deposition step, the first matter solid 710 will take the form as shown by 712.

[0061] In order to fill these requests, the technique which adds a solid is offered. When, as for this technique, a Boolean set difference operation is performed

successfully at the sum operation between two solids, the border area is based on the fact of holding the solid face structure eliminated. This technique is described as follows.

[0062] The loop formation about all solid  $S_i$ : 1. New solid  $'=(S_i \cup \text{new solid})-S_{i2}$ .  $S_i'=(S_i \cup \text{new solid})-\text{new solid}$  '3. New solid = new solid '4.  $S_i = S_i'1$  and three lines are placing the face pattern of the existing solid on a new matter solid in practice. Since a variable "new solid '" has the face pattern of the existing solid, it ensures that 2 and four lines have the pattern on existing solid.

[0063] The 2nd consideration matter is the structure of an air solid. The first air solid is defined as what has the dimension which occupies larger airspace than an object clearly. An air solid is first changed by forming a temporary solid by performing a Boolean set sum operation about all the existing solids. A loop formation must be continued until a Boolean set sum operation is successful about all solids, since all solids do not touch mutually. Then, an air solid is produced by performing a Boolean set difference operation between the first air solid and a temporary solid.

[0064] triangle-izing and a grid adjust -- a suitable example must constitute solid surface from a triangle face. The reason will become clear from explanation of the following surface migration. The solid modeler of a suitable example produces a solid with the surface which consists of polygon faces. Then, the triangle face generation (grid generation) approach is offered.

[0065] the approach of producing a triangle face from a polygon -- for example, -- Delauney Mosaic (tessellation) etc. -- it is -- it is technically well-known. However, the approach of a suitable example is much easier than a technically well-known thing. Drawing 9 is the flow chart of the basic approach. All the inner loops that are making [ 1st ] the hole in the solid in step 801 are deleted. Deletion is performed by inserting a new edge between two top-most vertices belonging to an outer loop and an inner loop. If such an inner loop is deleted first, it turns out that future processings are simplified.

[0066] Next, in step 802, a new edge is inserted between the next next top-most

vertices of the top-most vertices of the polygon surface of a processing object, and the top-most vertices made into the problem when searching for a polygon in accordance with a loop formation. Then, in step 803, the boundary which this new edge is in the interior of a polygon, or is defined by polygon surface is intersected, or it is determined. When it intersects the boundary which a new edge is in the polygonal exterior, or is defined by polygon surface, this new edge candidate is abandoned at step 804, and other new edge candidates are inserted in step 802. When a new edge candidate is in the boundary defined by polygon surface, in step 805, the new edge is added to a polygon. Steps 802-806 essentially divide a polygon face into a triangle face. Next, it is determined in step 807 whether all the faces were triangle-ized. Otherwise, steps 801-806 are repeated to the following face. If all faces are triangle-ized, a grid adjust will be performed at step 808.

[0067] Drawing 10 (a) - (e) shows the example of the triangle-ized approach. In drawing 10 (a), the polygon face has an outer loop 821 and an inner loop 822. As mentioned above, loop structure is the ring of a half edge. (ring) It is the table containing the pointer to point out by which the double link was carried out. As mentioned above, an inner loop is deleted by inserting a new edge between the top-most-vertices point of an outer loop, and the top-most-vertices point of an inner loop. Deletion of such an inner loop is illustrated by drawing 10 (b). Here, the new edge 825 is inserted between the top-most-vertices point 823 of an outer loop 821, and the top-most-vertices point 824 of an inner loop 822. The half edge defined by the inner loop is contained in the ring of the half edge of an outer loop by this.

[0068] As mentioned above, edge structure consists of two half edges. Therefore, the new edge 825 also consists of two half edges. A half edge is inserted for making easy production of a new (the outer loop consists of ring of half edge) polygon face. When a new polygon is built, one of the half edges belongs to a new polygon, and it belongs to the polygon of other existing [ one ].

[0069] In drawing 10 (c), the new edge 826 is inserted between the top-most-vertices point 827 and 828 between the polygonal top-most-vertices points here. In order for a new edge to remain, this new edge must check not intersecting a polygonal

boundary (namely, outer loop). Since an outer loop contains the half edge of an inner loop, the new edge 826 intersects a polygonal boundary. Since the new edge 826 intersects a polygonal boundary, the new edge 826 is abandoned.

[0070] In drawing 10 (d), the 2nd new edge 829 is inserted between the top-most-vertices point 827 and 824. Here, the new edge 829 intersects neither of the half edges of an outer loop. Furthermore, a triangle 831 is defined. A triangle 831 consists of one side of the half edge defined as edges 825, 829 and 830 being alike, respectively. A triangle 831 serves as a polygon face in itself, and a triangle-ized process is further continued about the polygon 832 shown in drawing 10 (e).

[0071] A grid adjust is performed in order to restrict triangular size. In the suitable example, three conditions cause a grid-adjust operation. These three conditions are as follows. (1) One edge exceeds the maximum edge length. (2) One edge is shorter than the minimum edge length. Or the height of (3) triangles is lower than the minimum value defined beforehand. Drawing 11 (a) - (f) illustrates the grid-adjust operation produced according to these conditions. Note that various special conditions and exceptions arise during a grid adjust. Such special conditions or an exception are not explained here. It is for avoiding making this invention unclear beyond the need.

[0072] Drawing 11 (a) and (b) show the case where an edge is long. Fundamentally, a long edge is divided into two edges and two new edges are inserted. In this way, two new triangles are made. In drawing 11 (a), an edge 901 is too long. In the suitable example, when edge length exceeds 160% of the size of a fundamental triangle, it will be said that it is too long. Notice this fundamental-triangle size about being given in the input to a process simulation. Choosing an edge length allowed value which is different in long decision of elapsing does not deviate from the pneuma of this invention, and the range. Drawing 11 (b) shows a corrective action. First, the adjoining top-most-vertices points 905 and 906 are connected with the new top-most-vertices point 902, and the new edges 903 and 904 are built. It is because that the top-most-vertices points 905 and 906 were chosen is the point with which they were used for defining the triangle defined with the edge 901 above.

[0073] Drawing 11 (c) and (d) show the case of a short edge. Fundamentally, a short edge is deleted with two edges used for making a contiguity triangle. It is too short when edge length does not fulfill at least 60% of fundamental-triangle size with a suitable example. Choosing a different edge length threshold as the minimum value does not deviate from the pneuma of this invention, and the range. Drawing 11 (c) shows the top-most-vertices points 911 and 912 and edges 913 and 914. Drawing 11 (d) shows a corrective action. First, the short edge 910 is eliminated. One [ 911 ] of the top-most-vertices (shown in drawing 11 (c)) points, i.e., the point, is deleted by this, and two edges 913 and 914, i.e., edges, are deleted at coincidence. Top-most vertices 912 turn into one top-most vertices of two or more triangles which included top-most vertices 911 before.

[0074] If an edge is deleted, note further that the details of structure are eliminated. The edge which keeps the configuration of original structure the best whenever a shift edge is deleted is saved.

[0075] Drawing 11 (e) and (f) show the example of a triangle with low height. In drawing 11 (e), the height of a triangle 921 is lower than the minimum value. In the suitable example, when triangular height does not reach at least 28% of fundamental-triangle size, it is supposed that height is passed low. Choosing the threshold of different height from this as the minimum value does not deviate from the pneuma and the range of this invention. The top-most-vertices points 922 and 923 and an edge 920 are further shown in drawing 11 (e). Drawing 11 (f) shows the corrective action. First, one triangular edge is deleted. Here, the edge 920 is deleted. The longest edge is deleted in the suitable example. Next, the new edge 924 is pulled among the top-most-vertices points 922 and 923 between other two top-most-vertices points here. Although two or more triangles new between the top-most-vertices points are made, these top-most-vertices points are determined by investigating the top-most-vertices point relevant to the triangle in connection with the deleted edge.

[0076] These regulations are performed repeatedly in the following order. (1) (2) which divides a long edge -- and it deletes a short edge, delete or add an edge to a

triangle with low (3) height. These are performed until all threshold conditions are fulfilled, or until it reaches specific maximum with the count of a repeat.

[0077] It lets this process pass and each additional structure of top-most vertices, a face, and a half edge will be produced to solid structure. Furthermore, each structure of adjoining top-most vertices and a contiguity face will also be made.

Production of such structure, and integration to the existing solid structure (integration) It is well-known technically. Moreover, in order to fill with a matter interface the request that face structure must be the same, notice triangle-izing and the grid adjust which were mentioned above also about the point of being transmitted to contiguity matter structure.

[0078] Surface migration surface migration is answering and moving the surface which defines the boundary of a matter object solid to a process step. Between an air solid (air solid) and one or more matter solids, surface migration performs a Boolean set operation and is simulated. The important step which opts for surface migration is generating a movement vector at each top-most vertices of an air solid. Direct correspondence object of each deformation (direct correspondents) It is with the direction of a movement vector, and magnitude.

[0079] In order to determine the deposition rate and etch rate of a direction perpendicular to the surface of each top-most-vertices point, a three-dimension unification equation is used. Particle flux shadowing count is also performed in relation to this. This is used because only the contribution from a part for a visible region of deposition or the source of etching is included in movement vector count. Next, the actual movement vector about the top-most-vertices point is calculated using one in two or more approaches called a three-dimension flat-surface model. Finally, the surface migration SUI ping method is used and deformation of surface is caused. It prevents that invalid self-crossover structure produces the suitable surface migration SUI ping method of an example.

[0080] The deposition deposition using a Boolean set operation is a process step to which the matter is added. This can take either the gestalt added to the existing matter solid, or the gestalt which gives a completely new matter solid. In the case of

deposition, a new matter solid is defined as follows.

[0081]

[Equation 1]  $\text{New matter solid} = \text{Initial air solid} - \text{New air solid}$  [0082]

[Equation 2]  $\text{Redefinition matter solid} = \text{Initial matter solid} \cup \text{New matter solid}$

drawing 12 (a) - (d) shows the example of the deposition which used the Boolean set operation. Drawing 12 (a) shows the initial state of a wafer. The solid objects defined first are only the matter 1001 and the air solid 1002. Based on redefinition of the air solid 1002, the new air solid 1003 is defined as drawing 12 (b). This new air solid 1003 is defined using a solid surface migration technique so that it may explain in full detail later. Anyway, as shown in drawing 12 (c), the new matter 1004 is defined by taking a Boolean difference between the air solid 1002 and the new air solid 1003.

[0083] Drawing 12 (d) shows the case where the matter 1001 and the matter 1004 are the same matter. In such a case, a Boolean set sum operation is performed between the matter 1001 and the new matter 1004, and the matter 1005 is produced. On the other hand, when matter 1001 and 1004 differs, the matter 1004 remains as a separate matter solid.

[0084] Etching using a Boolean set operation is a process step from which the part of a matter solid is removed. In etching, the redefinition matter is calculated as follows.

[0085]

[Equation 3]  $\text{Redefinition matter solid} = \text{The Hara matter solid} - \text{New air solid}$

drawing 13 (a) - (d) shows the example of etching in the case of producing a hole to an intermediate product. Drawing 13 (a) shows the initial state of a wafer. The solid 1051 of the matter 1 is a basal layer, and the solid 1052 of the matter 2 is the maximum upper layer. Moreover, the air solid 1053 expresses the absentminded mind of the maximum upper layer 1052. In drawing 13 (b), the new air solid 1054 is produced using the surface moving method explained later. Notice this new air solid 1054 about having run through the solid 1052 of the matter 2 and having extended even in the solid 1051 of the matter 1.

[0086] First, the new matter 1 must be defined. As shown in drawing 13 (c), the



Boolean difference operation of the Hara matter 1-1051 and the new air solid 1054 is taken. Consequently, the new matter 1-1055 arises. Next, the effectiveness to the matter 2-1052 must be shown. As shown in drawing 13 (d), the new matter 2-1056 is produced by taking the Boolean difference of the matter 2-1052 and the air solid 1054. Consequently, the new matter 2-1056 which defines a hole arises.

[0087] When the deposition, the synchronization deposition of etching, and etching using a Boolean set operation are performed to coincidence, two approaches mentioned above are used continuously. What kind of sequence is sufficient as an operation.

[0088] In the suitable example, each count is performed in the form of a time step. Therefore, each process operation will appear as a screen of 1 ream of the low speed photography which performs a process operation (sequence).

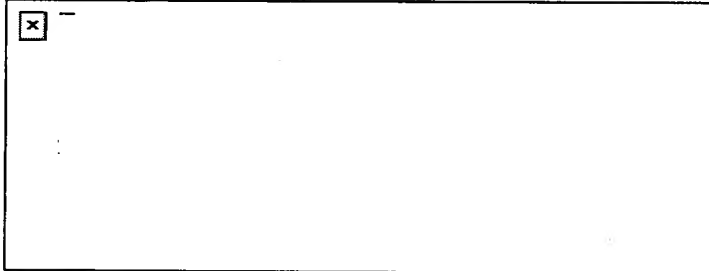
[0089] A three-dimension unification equation three-dimension unification equation calculates local deposition, etching or deposition, and the rate of the synchronization of etching, i.e., the surface passing speed of the direction of a normal on a surface flat surface (TORAJIEKUTORI). A three-dimension unification equation is extended from a two-dimensional unification equation. The fundamental concept and the parameter are common to both sides. Therefore, the parameter using two-dimensional simulation extracted from the experimental result of two-dimensional test structure (a line and tooth space) can be used, and a complicated three-dimension profile can be simulated. By it, the three-dimension result could be predicted, even if it does not carry out three-dimension measurement of an experiment sample. This is a desirable thing from three-dimension experiment analysis being farther [ than two-dimensional experiment analysis ] difficult. Two-dimensional measurement and two-dimensional parameter doubling (parameter fitting) It is comparatively easy, and well-known. [ come out technically and ]

[0090] A unification equation treats a deposition reaction and an etching reaction as linearity-combination of an isotropic component and two or more anisotropy components. This three-dimension unification equation has six parameters fundamentally (this is the same as that of the case of a two-dimensional unification

equation). The three-dimension unification equation is as follows.

[0091]

[Equation 4]



[0092] Here, for an isotropic reaction parameter and B, a perpendicular reaction parameter and C are [ V / the rate of surface migration, and A ] sputtering yield. (yield) An include-angle dependence reaction parameter, the reaction parameter of the incidence particle in which D has angular distribution, the parameter with which n gives the angular distribution of an incidence particle, and E are reflection and a re-deposition reaction parameter. Furthermore, integralvisible The integral covering d ohms of solid angles which can be seen is meant, and it is integralinvisible. The integral covering d ohms of solid angles which cannot be seen is meant. The need of distinguishing two integrals will become clearer about the following particle flux shadowing.

[0093] The definition of each include-angle variable of a three-dimension unification equation is illustrated by drawing 14 . In drawing 14 , the calculating point 1101 exists on a horizontal plane 1102. In order to clarify a direction, a horizontal axis 1103, vertical axes 1104, and the surface normal 1105 are written in. Angle thetaS1108 is defined as an include angle between the surface normal 1105 and vertical axes 1104. Angle psiS1109 is defined as an include angle of the half-clockwise rotation between a horizontal axis and the production 1111 which is projection to the horizontal plane 1102 of a surface normal. Furthermore, the corpuscular ray 1106 which defines the direction of incidence of a particle is shown. Angle theta 1107 is defined as an include angle between vertical axes 1104 and a corpuscular ray 1106. Angle psi 1110 is defined as an include angle between a

horizontal line and the projection to the horizontal plane 1102 of a corpuscular ray 1106.

[0094] Using other equations, although a movement vector is calculated does not deviate from the pneuma and the range of this invention. what is expected in order to depend for use of a different equation on the unique description how a process step is performed (anticipated) it is .

[0095] The suitable example of count this invention of a peak shift has taken three kinds of approaches, although a peak shift is calculated. The 1st approach is called the efficient approach and aims at giving a quick and near approximation result. The 2nd approach is called the high precision approach and aims at giving an exact result. These 2 approach does not conflict mutually and is both also that using a method together with a \*\*\*\*\* form is expected. The 3rd approach is taking into consideration the case where it is in the interface of two solids of the etch rate from which an etching process step is performed and the top-most vertices under migration differ.

[0096] By this explanation, it is the top-most-vertices point. (vertex points) A point common to two or more faces (namely, flat surface) is very. It is also important for the relation of two faces which cross with an edge to note characterizing as either a convex or concave. Generally, when the include angle between 2 faces is larger than 180 degrees, the relation is a convex, and the relation is concave when the include angle between 2 faces is smaller than 180 degrees.

[0097] Here, it is also important for various kinds of characteristic configurations in the top-most-vertices point to note being generated as a result of various process steps. It is a matter well-known to this contractor of VLSI manufacture that such a configuration arises as a result of each process step. Anyway, these contractors have proved the need for the top-most-vertices moving method of a suitable example.

These characteristic configurations are illustrated by drawing 1 (a) - (c).

[0098] Finally, notice the top-most-vertices point migration count to the etch rate depending on a surface normal angle about top-most vertices becoming difficult according to the fact that the fact, i.e., this point, of being independent cannot define

a surface normal. The approach of a suitable example is suitable for especially dealing with this problem. Notice the count explained below also about being carried out to each time step as opposed to each solid top-most-vertices point. In actual simulation, these count may be generated to each top-most vertices many times.

[0099] If it says about the efficient approach three-dimensional structure of count, top-most vertices should note being surrounded by 1, 2, 3, or the flat surface beyond it. However, it is in charge of performing migration count, and three or less flat surface is chosen / produced by the efficient approach. Three or less selected flat surface approximates the actual structure of each top-most vertices. Plane selection/production will be performed by analyzing the include angle which different flat surfaces in the top-most vertices make, if required. The 1st approach is called the edge reducing method and summarizes two or more flat surfaces which are the same flat surfaces mostly. The process to summarize is repeated to the condition that only three flat surfaces remain.

[0100] The 2nd approach is called the flat-surface reducing method, identifies the flat surface which has only effect of min on the structure after migration, and removes those flat surfaces from future count. Generally the flat-surface reducing method is accompanied by the following step.

[0101] 1. Advance each flat surface and find the crossing of each edge and each flat surface.

[0102] 2. Find a flat surface where the number of the crossings of a plane edge serves as min.

[0103] 3. Exclude a flat surface where the number of the crossings of a plane edge serves as min, and reconstruct a top-most-vertices configuration.

[0104] These steps are repeated to the condition that only three flat surfaces remain.

[0105] Drawing 15 (a), (b), and drawing 16 have illustrated the flat-surface reducing method. Drawing 15 (a) shows the top-most-vertices point 1201 and the adjoining flat surfaces 1202-1205. I would like you to remember that the crossover of two flat surfaces defines an edge. Therefore, an edge 1207 is the crossover with flat surfaces

1202 and 1203, an edge 1206 is the crossover with flat surfaces 1204 and 1205, and an edge 1209 is [ an edge 1208 is the crossover with flat surfaces 1203 and 1204, and ] the crossover with flat surfaces 1202 and 1205. As mentioned above, the 1st step is advancing each flat surface and finding the crossing of each edge and each flat surface. This is shown in drawing 15 (b). In drawing 15 (b), it is moved, a flat surface 1202 makes a flat surface 1216, and the top-most-vertices point moves from it to 1211. Similarly, it is moved and flat surfaces 1203, 1204, and 1205 make flat surfaces 1217, 1218, and 1215. At this time, the corresponding top-most-vertices point moves to 1213, 1214, and 1210.

[0106] First, edge crossing with the flat surface where each flat surface advanced and others moved forward (edge intersection points) It is identified. The flat surface with few crossings is known by that there is little effect of the formation of a form status change on the last solid structure. This identification is illustrated by drawing 15 (b). Here, flat surfaces 1215-1218 are shown as what was extended from the produced solid, respectively. this example -- setting -- a flat surface 1215 -- that edge top -- two crossings (1211 and 1214) -- \*\*\*\* -- it is. moreover, the flat surfaces 1216 and 1217 -- respectively -- one crossing (it is 1213 and 1214, respectively) -- \*\*\*\* -- getting down -- a flat surface 1218 -- a crossing -- \*\*\*\* -- it is absent. In this way, a flat surface 1218 is deleted and flat surfaces 1215, 1216, and 1217 are chosen as a representation flat surface of this structure.

[0107] In drawing 16 , a flat surface 1204 is deleted and a top-most-vertices configuration is reconstructed. The new edge 1219 is made by this. This edge 1219 is the crossover with flat surfaces 1203 and 1205.

[0108] Drawing 17 (a), (b), and drawing 18 show an example of the field reducing method flat surfaces fewer than 3 were chosen. In drawing 17 (a), the top-most-vertices point 1230 has the adjoining flat surfaces 1231-1234. Notice a flat surface 1231 about it being behind flat surfaces 1232-1234. Each flat surface advances like a top. The result of this advance is shown in drawing 17 (b). Drawing 17 (b) shows the flat surface which advanced, and the crossing produced as a result. The flat surface 1235 which advanced is equivalent to the flat surface 1231 of drawing 17 (a), and

has the moved top-most vertices 1240 and crossings 1241 and 1242. The flat surface 1236 which advanced is equivalent to the flat surface 1232 of drawing 17 (a), and although it has the moved top-most vertices 1241, it does not have a crossing. A flat surface 1238 is equivalent to the flat surface 1234 of drawing 17 (a), and although it has the moved top-most vertices 1242, it does not have a crossing. A flat surface 1237 is equivalent to the flat surface 1233 of drawing 17 (a), and has the top-most-vertices point 1239 and the crossings 1241 and 1242 which were moved. Since flat surfaces 1236 and 1238 do not have a crossing, they are small. [ of the effect which it has on the last structure where it moved forward ]

[0109] In drawing 18 , flat surfaces 1232 and 1234 are omitted and the top-most-vertices configuration is reconstructed. The flat surfaces which include the adjoining top-most vertices obtained as a result here are 1231 and 1233. Note that there is no edge, i.e., a crossover, among flat surfaces 1231 and 1233. Such a result is not expected and does not disturb the result of count.

[0110] Once three flat surfaces are built / generated, a peak shift will identify the description of the top-most-vertices point and a contiguity edge, and will be performed by the result. As for the top-most-vertices point, stability, instability, a saddle point, a non-saddle point, or \*\* is identified. As for an edge, concave or a convex is decided. That the top-most-vertices point is considered as stability is the case as advance top-most vertices that the crossing of the advance face which adjoins the top-most vertices is the same. In other words, advance top-most vertices are the cases where initial top-most vertices and 1 to 1 correspondence is being carried out. This is an acute-angle corner. (sharp corner) It is generated. Unstable top-most vertices do not have advance top-most vertices and 1 to 1 correspondence. Since initial top-most vertices make many top-most vertices about unstable top-most vertices consequently, a round corner produces them. It is a time of not having the relation in which the edge which adjoins this top-most-vertices point all serves as concave, or all serves as a convex that the top-most-vertices point is identified a saddle point. On the contrary, it is a time of having the relation between whether all the edges that adjoin this top-most-vertices point serve as concave, or all become a

convex that the top-most-vertices point serves as a non-saddle point.

[0111] The approach of a suitable example is shown in the flow chart of drawing 19.

Although some points which are not made in fact and the corpuscular ray corresponding to it may be explained during activation of this approach, when explaining this approach, notice these about a useful thing. It is assumed that the top-most-vertices point to consider is Point A. First, a unit vector is calculated in step 1301. A unit vector is defined as an average of each normal vector of three flat surfaces. It considers as the thing of explanation by which Point R is projected on the opposite direction of a unit vector (in the direction of a unit vector to 180 degrees) for convenience. And Line AR is built from the top-most-vertices point A by Point R. The reason for making Line AR is for preparing the means which builds the parallel lines emitted from a station.

[0112] Subsequently, Viewpoint Q is determined at step 1302. In almost all cases, each flat surface advances (or migration) and a viewpoint is determined only for the amount decided with the three-dimension unification equation mentioned above. Viewpoint Q is defined as a crossing of three flat surfaces. Note that three flat surfaces only cross by one point. When the top-most-vertices point is instability (unstable: the rough edge of the character be rounded off with advance of a process, and become round) and it is a saddle point, Viewpoint Q is defined as a tip of a movement vector. The direction of this movement vector is defined as an average direction of the edge vector (namely, two concave edges or two convex edges) of two edges of the same kind along the 3rd flat surface about two flat surfaces which form the unstable edge (namely, independent concave or a convex edge) which is not common. The magnitude of this movement vector is at an example with this suitable in May, 1989. Symposium of VLSI Technology It lengthens from the two-dimensional count indicated by the report S.Tazawa, et al., and "the 2-D DEER calculation for the two planes forming the first unstable edge" announced by 24 pages. The 1st pass observation direction is determined at step 1303. It depends for the 1st pass observation direction on the relation of each face pair, i.e., a convex or concave. Table A shows various relation and the observation direction in the 1st

pass and the 2nd pass corresponding to it.

[0113]

[Table 1]

Table A Concave-concave-concave Convex-convex-convex Concave-convex-convex  
Convex-concave-concave The 1st pass + - - + The 2nd pass + - + - Here, it is  
concave. : Convex which means a concave edge: + which means a convex edge: The  
same direction as a unit vector -: In a unit vector and the opposite direction step  
1304, the observation vector which makes a station the starting point and makes the  
1st observation direction a direction is defined. Again, for convenience, Point P is  
projected and it is assumed that it is the thing of explanation of this approach which  
builds the line QP parallel to Line AR. In a situation with the stable top-most-  
vertices point, the migration place of Point A is the part which met Line AR. The  
vocabulary "Line QP" is an observation vector and a consent word, and notice it  
about pointing out the same object. A focus moves from to which \*\*\*\* to which the  
top-most-vertices point A met Line QP the remaining part of this approach moves  
to determining correctly.

[0114] The 1st virtual flat surface is made from step 1305 among two of three made  
flat surfaces. When top-most vertices are unstable, two flat surfaces which form the  
1st instability edge are chosen. The 1st virtual flat surface is one of many flat  
surfaces made and processed between two selected flat surfaces. Next, the 1st virtual  
flat surface advances in step 1306.

[0115] In step 1307, a series of 2nd virtual flat surfaces are made, and it moves  
forward. This 2nd virtual flat surface of a series of is located in the middle of the  
made 1st virtual flat surface and the 3rd flat surface which was not chosen  
previously. This 2nd virtual flat surface of a series of advances at step 1308. In step  
1309, the flat surface which intersects Line QP by the apogee of the direction of Line  
QP is identified from a series of 2nd virtual flat surfaces and the 1st virtual flat  
surface. In step 1310, this flat surface is stored into a series of flat surfaces identified  
with the 1st pass.

[0116] In step 1311, it is judged whether the last 1st virtual flat surface was made. A



user can decide the number of the 1st virtual flat surfaces made. The precision of simulation goes up, so that the number of the 1st virtual flat surfaces is large. The 1st pass will be completed, if the last 1st virtual flat surface is made and a series of 1st pass flat surfaces are made. By this approach, a single string is comprehensive. (comprehensive) Notice plane analysis about being carried out about the 1st pass observation vector. Then, the 2nd pass is started.

[0117] The 2nd pass can be begun from determining the 2nd pass observation direction in step 1312. The 2nd pass observation direction can be determined from Table A. Only when the top-most-vertices point is a saddle point, the 2nd pass observation direction is reversed. Anyway, in step 1313, the 2nd pass observation vector and the corpuscular ray corresponding to it are made. Finally, in step 1314, a crossing with the 2nd pass observation vector is determined as the flat surface from a series of flat surfaces of the 1st pass. The maximum \*\*\*\*\* in alignment with the 2nd observation vector is defined as the migration point corresponding to the top-most-vertices point A.

[0118] Notice the approach of a suitable example about explaining a way method all the flat surfaces located in the middle of three flat surfaces are analyzed about the 1st observation vector. Probably, other methods of identifying and presetting such a middle flat surface are included in the pneuma and the range of this invention. Also when the saddle top-most-vertices point is moved, also note only needing a two pass. The two pass approach mentioned above is the general approach of working in all cases. Probably, the method of treating two cases separately (when it being the case where the top-most-vertices point is a saddle point, and a non-saddle point) will also be clear to this contractor.

[0119] The top-most-vertices point is stable, and the example when not being a saddle point is shown in drawing 20 (a), (b), and drawing 21 (a) and (b). In drawing 20 (a), the top-most-vertices point 1351 of three flat surfaces 1352-1354 is shown.

[0120] All the relation between three flat surfaces 1352-1354 is convexes. If a deposition process step is assumed, three flat surfaces 1352-1354 each have the surface normals 1357-1359, respectively. As mentioned above, the unit vector in the

top-most-vertices point 1351 is calculated. A unit vector is the average of the normal vector of three flat surfaces. The unit vector 1355 is shown. The point R1360 of the opposite direction of a unit vector 1355 is defined, and a line AR 1356 is built.

[0121] Station Q is determined in drawing 20 (b). The flat surfaces 1372-1374 corresponding to flat surfaces 1352-1354 are made [ 1st ]. Flat surfaces 1372-1374 will advance flat surfaces 1352-1354, and will be produced during surface migration. Since this is a deposition process, advance is the direction of a unit vector. Advance becomes an opposite direction when this is an etching process. A station Q1375 is made as a crossing of three flat surfaces 1372-1374 which advanced, and is defined. Shortly, the observation direction is determined. In Table A, the observation direction is an opposite direction of a unit vector to the top-most-vertices point with three convex faces. Here, the observation vector 1376 of the opposite direction of a unit vector 1355 is made. Furthermore, Point P is defined along with this 1st observation vector 1376, and Line QP is made. Notice the segment defined with a station Q-1375 and a point P-1377, i.e., QP, about that it must be parallel to Segment AR and 1356.

[0122] In drawing 21 (a), two or more virtual flat surfaces 1380 are advanced. The advance virtual flat surface 1380 is equivalent to the virtual flat surface made from the 1st pass. Here, the 1st virtual flat surface is made among flat surfaces 1352 and 1353. A series of 2nd virtual flat surfaces are made between the 1st virtual flat surface and a flat surface 1354. The virtual flat surface 1380 represents production of a series of 2nd virtual flat surfaces. The point that the advance virtual flat surface 1380 intersects an observation vector 1376 is shown in drawing 21 (b) as a bar 1390. As mentioned above, the maximum \*\*\*\*\* along the crossing of the direction of an observation vector is used for identifying the flat surface memorized all over the flat surface of a single string of the 1st pass. Here, the maximum \*\*\*\*\* is 1391. Here, note that the maximum \*\*\*\*\* is a crossing where the inner product of the other vector and an observation vector 1376 serves as max from the station Q which is the starting point of an observation vector 1376 at each crossing.

[0123] A series of virtual flat surfaces which all the 1st virtual flat surfaces were

produced, assumed that a series of 1st pass flat surfaces were made, next were identified with the 1st pass are compared. Since the 2nd pass observation vector has the same direction as the thing in the 1st pass, the same drawing as drawing 21 (b) is made. Here, the maximum \*\*\*\*\* which met the corpuscular ray will define the point of the migration place of the top-most-vertices point.

[0124] The high-precision-computation approach high-precision-computation approach gives a result more exact than an efficient approach. The high precision approach is suitable for etching / deposition rate especially calculating the peak shift of a case so that it may be dependent on the include angle between a surface normal and a perpendicular direction like for example, a sputter etching step. However, the count to perform increases the high precision approach. It is a kind of trade-off, i.e., a trade-off of a simulation precision pair rate, which shall be used between the high precision approach and the efficient approach.

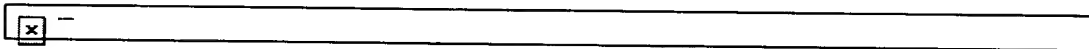
[0125] The high-precision-computation approach is based on observation that a certain kind of invalid top-most-vertices TORAJIEKUTORI arises, when surface moves forward. In order to understand this, please remember first that the top-most-vertices point is independent, i.e., the top-most-vertices point cannot define a surface normal. That is, in the top-most-vertices point, TORAJIEKUTORI (it has extended from the surface normal of a contiguity face) from which plurality differed is possible. For example, etching guttra JIEKUTORI which has departed from the top-most vertices of \*\*\*\*\* may be passed by etching guttra JIEKUTORI which has left the surface which adjoins these top-most vertices. Thus, passed etching guttra JIEKUTORI is invalid. This is shown in drawing 22 (a). Here, by the etching process step, surface 1401 moves forward to surface 1403, and surface 1402 moves forward to surface 1404. Surface 1401 and 1402 should note defining the convex interface. The top-most-vertices point 1405 with two or more TORAJIEKUTORI 1406-1410 is also shown. TORAJIEKUTORI 1406, 1407, and 1410 defines the back moving point rather than the advance surface 1403 and 1404. Therefore, TORAJIEKUTORI 1406, 1407, and 1410 is invalid, and its TORAJIEKUTORI 1408 and 1409 is effective. This is easily observed from an invalid

TORAJIEKUTORI point being deleted by etching.

[0126] In the case of two-dimensional structure, top-most vertices and an edge can classify each TORAJIEKUTORI of effective top-most vertices, an edge, and a flat surface according to a convex or concave, and can determine it. This is called the two-dimensional approach. In the case of a convex, TORAJIEKUTORI behind TORAJIEKUTORI of an adjoining flat surface and a contiguity edge is invalid. In the case of concave, TORAJIEKUTORI which is ahead of TORAJIEKUTORI of an adjoining flat surface and a contiguity edge is invalid. Invalid TORAJIEKUTORI clips. Vocabulary called a clip is invalid TORAJIEKUTORI or an invalid part. (sections) Deletion is pointed out.

[0127] In the case of the three-dimensional structure, a certain kind of top-most-vertices point, for example, a saddle point, cannot be classified according to concave or a convex. Generally, the high precision approach dispels the three-dimensional structure as a series of two-dimensional structures. The high precision approach is explained with reference to drawing 23 and drawing 24 (a) - (c). Drawing 23 is a flow chart explaining the step of the high precision approach. Drawing 22 (b), (c), drawing 23, and drawing 24 (a) - (c) shows the function of each step. In drawing 23, the edge and surface flat surface of surface advance at step 1420 first. The advance surface flat surface is shown in drawing 22 (b). In drawing 22 (b), the surface flat surfaces 1440-1442 advance, and turn into the surface flat surfaces 1443-1445. A surface flat surface is the following, is made and advances. All the points on each surface are suitable. (orientation) Since it is the same, all points are [0128].

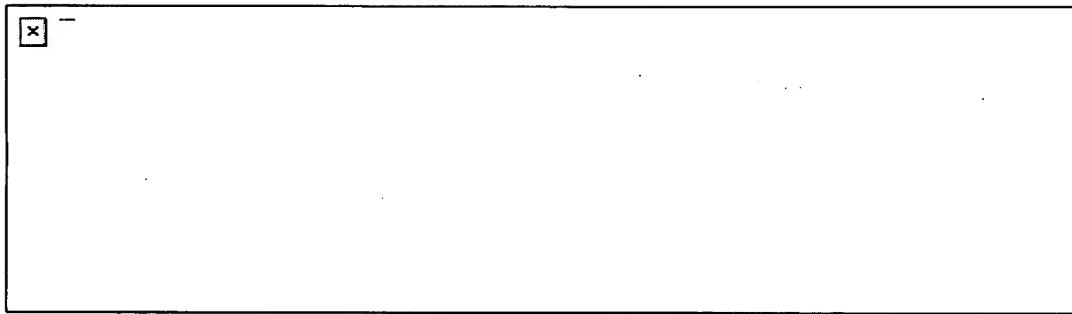
[External Character 1]



[0129] It is given by the degree type.

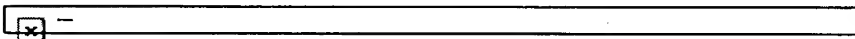
[0130]

[Equation 5]



[0131] Here,  $c$  is a rate (it is negative at the time of etching) perpendicular to surface, and  $\Delta t$  is a time step at the time of point migration. Moreover,  $\theta$  and  $\phi$  are [0132].

[External Character 2]



[0133] New point  $P'_{Ai}$  to a surface flat surface is given by the degree type.

[0134]

[Equation 6]



[0135] TORAJIEKUTORI of the all points contained at a original surface flat surface forms an advance surface flat surface.

[0136] Drawing 24 (a) shows the advance edge. The TORAJIEKUTORI points 1452 and 1453 corresponding to the endpoints 1450 and 1451 of an edge 1454 are shown. Generally, endpoints 1450 and 1451 are the top-most-vertices points. An edge does not have a surface normal like the top-most-vertices point. Therefore, the TORAJIEKUTORI point of all points which meets an edge is the same as the TORAJIEKUTORI point of an endpoint. TORAJIEKUTORI which becomes invalid by this may be partly made by the corresponding advance surface flat surface so that it may explain below. Such invalid TORAJIEKUTORI is clipped using the two-dimensional Ruhr mentioned above.

[0137] Here, count of an advance edge is explained. These TORAJIEKUTORI is [0138].

[External Character 3]

☐ -

[0139] \*\*\*\*\*.

[0140]

[Equation 7]

☐ -

[0141] It is assumed that PE1 and PE2 are the endpoints of an edge. Each endpoint produces some moving forward points, and each moving forward point has a value of  $0 < t_i < 1$  with an expression when related with the surface sense, respectively. A moving forward point is given by the degree type.

[0142]

[Equation 8]

☐ -

[0143] It is here and is [0144].

[External Character 4]

☐ -

[0145] In step 1421, the advance surface flat surface corresponding to an advance edge and it is clipped, and a series of two-dimensional clip surface is made from each surface flat-surface intersection. The number of two-dimensional clip surface is equal to the number of edges. The need of clipping the crossing of an advance surface flat surface is shown in drawing 22 (c). Surface 1445 and surface 1447 move forward and make surface 1446 and 1448. Note that the crossover area 1449 was made as a result of the advance surface 1446 and 1448. Such a crossover makes self-crossover structure. In order to maintain the effective expression of this structure,

this crossover must clip. An advance edge must also be clipped again.

[0146] If all two-dimensional clip surface is made, in step 1422, the two-dimensional solution to will be put together and the intersection of a two-dimensional solution will be found. The crossover between edges is investigated in this step. The two-dimensional solution put together builds effective and surface with an invalid section. When an intersection is found, an invalid section is identified at step 1423 and it clips from result surface at step 1424. These steps 1422-1424 are repeated to the pair of all two-dimensional solutions, and the two-dimensional solution with which a single string was combined is made from step 1425.

[0147] Steps 1422-1424 are further shown in drawing 24 (b). Here, surface 1461 intersects surface 1460. Surface 1460 and 1461 crosses in a location 1464. Surface 1460 is prolonged exceeding crossover 1464 and makes a section 1462. Similarly, surface 1461 is prolonged exceeding crossover 1464 and makes a section 1463. Sections 1462 and 1463 are invalid. It is because these sections ran through the last advance surface and it has extended.

[0148] So far, advance and clipping of an advance surface flat surface and an advance edge have been considered. Here, top-most-vertices TORAJIEKUTORI is considered. First, in step 1426, the perpendicular flat surface of the arbitration which crosses that it is solid on the top-most-vertices point is made. The perpendicular flat surface of arbitration is chosen because a process like sputter etching is symmetrical with a cylinder. Next, in step 1427, top-most-vertices TORAJIEKUTORI in a perpendicular flat surface is built. Top-most-vertices TORAJIEKUTORI is made using technique like the two-dimensional method mentioned above. Then, in step 1428, perpendicular TORAJIEKUTORI clips by the intersection using a two-dimensional method. This intersection is the crossover with each surface flat surface of each surface in a series of combination two-dimensional solutions, and the made perpendicular flat surface. Finally, in step 1429, one top-most-vertices TORAJIEKUTORI is chosen from remaining top-most-vertices TORAJIEKUTORI for a peak shift. Generally, TORAJIEKUTORI near the average normal of surface is suitable.

[0149] Steps 1426-1428 are shown in drawing 24 (c). Here, the two-dimensional combination solution 1474 is shown about top-most vertices 1470. The test flat surface 1471 of the arbitration which crosses that it is solid is shown with the surface flat surface 1473 of the two-dimensional combination solution 1474. TORAJIEKUTORI 1472 of the top-most-vertices point 1470 is clipped by the two-dimensional method mentioned above.

[0150] the peak shift in the interface of two matter with a different etch rate --  
\*\*\*\*\* -- it is the interface of two matter with an etch rate, and special handling is required when a peak shift is performed. The general outline of peak shift count is shown in drawing 25 , drawing 26 (a), (b), and drawing 27 (a) - (d). Drawing 25 is a flow chart which shows the outline of this approach. Before explaining this approach, it is required to explain a migration community plane peak point first. Migration community plane peak point (moving interface vertex) Ordinary interface top-most vertices (interface vertex) It corresponds, a process step is answered and a peak shift is received. Probably, interface top-most vertices have the passing speed corresponding to the matter with a quicker etch rate, and the migration direction which meets an interface edge. In drawing 25 , interface top-most vertices are first changed into a migration community plane peak point at step 1501. Next, they are division interface top-most vertices at step 1502. (split interface vertices) It is inserted. Each division interface top-most vertices are related with one of the matter in this interface. Such division interface top-most vertices are the same coordinate points as a migration community plane peak point. In step 1503, peak shift count with interface top-most vertices and division interface top-most vertices is performed, and top-most vertices are moved according to it. Such a peak shift is performed using the peak shift count technique mentioned above. In step 1504, all the division interface top-most vertices very near the interface top-most vertices are deleted after a peak shift. This is because such division interface top-most vertices do not influence result structure. Finally, in step 1505, the remaining division interface top-most vertices are changed into the ordinary top-most vertices of the corresponding matter, and a migration community plane peak point is changed into



ordinary interface top-most vertices.

[0151] Drawing 26 (a) and (b) show insertion of the division interface top-most vertices in a multi-matter interface, and count of a corresponding movement vector.

In drawing 26 (a), the matter A-1521 adjoins the matter B-1522. The interface top-most vertices 1520 are in the boundary point to which the matter A-1521 and the matter B-1522 were exposed. The 2nd interface top-most vertices 1525 are also shown. In this case, the interface top-most vertices 1525 are not exposed.

Furthermore, the top-most vertices 1523 corresponding to the matter A-1521 and the top-most vertices 1524 corresponding to the matter B-1522 are shown. In drawing 26 (b), the division interface top-most vertices 1527 corresponding to the matter A-1521 and the division interface top-most vertices 1528 corresponding to the matter B-1522 are inserted. Furthermore, the interface top-most vertices 1520 are transposed to the migration community plane peak point 1526. Although it has a coordinate value with same division interface top-most vertices 1527 and 1528 and migration community plane peak point 1526, it is dissociated and shown in order to clarify here.

[0152] Drawing 27 (a) and (b) show the case where division boundary top-most vertices have the movement vector to which both sides correspond. In drawing 27 (a), top-most vertices 1523 and 1524 have the corresponding movement vectors 1529 and 1533. Furthermore, the division interface top-most vertices 1527 and 1528 have the corresponding movement vectors 1530 and 1532. The migration community plane peak point 1526 has the movement vector 1531 corresponding to the last. Notice top-most vertices 1525 about not having a corresponding movement vector. This is because top-most vertices 1525 are not exposed. Count of the division interface movement vectors 1530 and 1532 and the moving boundary vector 1531 is explained below.

[0153] Top-most vertices are moved in drawing 27 (b). A broken line 1534 is the original location of the matter A-1521, and notice a broken line 1535 about it being the original location of the matter B-1522. In this case, there are no division interface top-most vertices deleted. In the consecutive step, the division interface

top-most vertices 1527 and 1528 will turn into ordinary top-most vertices of those matter, and the interface top-most vertices 1524 will turn into ordinary interface top-most vertices.

[0154] Drawing 27 (c) and (d) show the case where the die length of the corresponding movement vector calculated about a certain division interface top-most vertices or interface top-most vertices is zero. Such an example may be produced at the time of a perpendicular etching process step. Anyway, in drawing 27 (c), the movement vector 1536 supports the division interface top-most vertices 1528. Furthermore, the movement vector 1537 supports top-most vertices 1524. Reference of drawing 27 (d) is moving the division interface top-most vertices 1528 and the ordinary top-most vertices 1524. Notice a broken line 1538 about the part which the matter B-1522 suited first being shown. Furthermore, notice the division interface top-most vertices 1527 also about being eliminated. This is because the coordinate of these division interface top-most vertices is the same as the coordinate of the migration community plane peak point 1526. Here, the migration community plane peak point 1526 usually turns into interface top-most vertices.

[0155] Drawing 28 (a) - (c) shows count of the movement vector to division interface top-most vertices. Generally count of the movement vector to division interface top-most vertices consists of two steps. (1) Calculate the shadow effectiveness in interface top-most vertices. (2) Produce the virtual structure for the movement vector count including division interface top-most vertices and the ordinary top-most vertices which adjoin to each matter. Production of 1 whenever virtual structure advances count of a movement vector like the case of the single matter. Drawing 28 (a) - (c) shows movement vector count of the structure shown in drawing 26 (b). Drawing 28 (a) shows the structure for shadowing count. It is explained [ shadow count and ] further below at a detail how they are performed. Anyway, the shadow count about interface top-most vertices and division interface top-most vertices is the same. Drawing 28 (b) shows the virtual structure of the matter A-1521 over the division interface top-most vertices 1527. This is only the structure of the matter A except Matter B. Drawing 28 (c) shows the virtual

structure over the matter B-1522 in the division interface top-most vertices 1528.

This virtual structure is also close to the matter B except Matter A.

[0156] Drawing 29 (a) - (c) shows count of the movement vector of a migration community plane peak point. Count of the movement vector in interface top-most vertices consists of the following step. (1) Determine the shadowing effectiveness. (2) Define the virtual structure of each matter. (3) Calculate the movement vector of both matter along the same direction on a boundary flat surface. (4) Choose the greatest vector as a movement vector of boundary top-most vertices. In drawing 29 (a), the matter A-1521 has the top-most-vertices point 1539 on the real surface 1541, and the matter B-1522 has top-most vertices 1524 on the real surface 1542.

Furthermore, the migration community plane peak point 1525 is shown. Drawing 29 (b) shows the virtual structure made to the matter A-1521. Here, the both sides of the real surface flat surface 1541 and the perpendicular flat surface 1540 are used for production of virtual structure. Here, the real surface flat surface 1541 is used because this affects count of the movement vector of the migration community plane peak point 1526. This is because the part of a surface boundary flat surface is exposed more quickly than the case where a real surface flat surface is a mere vertical plane. Anyway, as a result, a movement vector 1570 is calculated. Drawing 29 (c) shows the virtual structure over the matter B-1522. In this case, virtual structure consists only of a perpendicular flat surface 1543. The reason is that the effect of what does not exert the real surface flat surface 1542 on count of the movement vector 1571 of the migration community plane peak point 1526, either. In this case, the movement vector 1570 of the matter A-1521 is larger than the movement vector 1571 of the matter B-1522. Therefore, a movement vector 1570 is defined as a movement vector of the migration community plane peak point 1526.

[0157] Drawing 30 (a) The case where a real surface flat surface is not used although - (c) makes virtual structure is shown. In drawing 30 (a), the matter A-1521 has top-most vertices 1544 on real surface top 1545. The matter B-1522 has top-most vertices 1524 on real surface top 1546. Drawing 30 (b) shows the virtual structure made about the matter A-1521. Here, although virtual structure is made, only the

perpendicular flat surface 1547 is used. The reason is that the real surface flat surface 1545 does not influence count of the movement vector 1548 of the migration community plane peak point 1526. Drawing 30 (c) shows the virtual structure of the matter B-1522. Here, although virtual structure is made, only the perpendicular flat surface 1549 is used. As drawing 29 (c) was described, the effect of what does not give count of the movement vector 1560 of the interface top-most vertices 1526 the real surface flat surface 1546? In this case, the interface top-most-vertices movement vector 1548 corresponding to the matter A-1521 is larger than the movement vector 1550 of the migration community plane peak point 1526 corresponding to the matter B-1522. Therefore, a movement vector 1548 is defined as a movement vector of the migration community plane peak point 1526.

[0158] Drawing 31 (a) - (d) shows three-dimension count of the movement vector of interface top-most vertices. In drawing 31 (a), the matter A-1521 has two surface flat surfaces. The 1st surface flat surface consists of level triangle segments 1551-1553, and the 2nd surface flat surface consists of perpendicular triangle segments 1554-1556. The matter B-1522 consists of level triangle segments 1551-1553, and 1557-1559. Moreover, the division interface top-most vertices 1561 and 1562 and the migration community plane peak point 1560 are shown. Furthermore, the interface edge vectors 1563 and 1564 are shown. The interface edge vectors 1563 and 1564 are crossing the edge of the interface between the matter A-1521 and the matter B-1522.

[0159] Drawing 31 (b) shows the direction of a result movement vector. The direction of a movement vector is defined as two bisectrices of two boundary edge vectors on a boundary flat surface. Notice a boundary flat surface here about consisting of segments 1551-1553 of the matter A-1521, and segments 1557-1559 of the matter B-1522. Here, the direction of a movement vector is shown by 1561. This has divided into two equally the interface edge vectors 1563 and 1564 on the level boundary flat surface which consists of segments 1551-1553.

[0160] Drawing 31 (c) shows the virtual structure of the matter A-1521. Here, virtual structure consists of a real surface flat surface which consists of perpendicular segments 1554-1556, and a perpendicular flat surface 1565. A

movement vector is calculated as 1566.

[0161] Drawing 31 (d) shows the virtual structure made about the matter B-1522. Here, the effect of what does not exert the real surface flat surface defined by the level segments 1557-1559 on count of a movement vector, either. Therefore, they are removed. Virtual structure consists of a perpendicular flat surface 1567. Here, a movement vector is calculated as 1568. In this case, since it is larger than a movement vector 1566, a movement vector 1568 is defined as a movement vector of the interface top-most vertices 1560.

[0162] In order to calculate a particle flux shadowing movement vector correctly, the flux which enters through solid angle opening must be calculated correctly. Incidence flux is projected by the matter on the wafer with which DEPOSHISHON or etching is performed. Solid angle opening is a part for point absentminded Mabe in which a shadow will not be carried out by the configuration soon. Shadowing is vocabulary currently ordinarily used in the field of computer graphics. In computer graphics, shadowing means making each point of a certain object dark, and it is for this object to be hidden by other objects about a certain light source. Here, a certain point exists in a shadow because the path of the particle from the source is interrupted by other parts of the configuration of an object (for example, semiconductor wafer).

[0163] the source of flux is changed on a wafer (vary) it will be -- since -- a configuration will form a complicated mask to the point of the arbitration of the three-dimensional structure soon. Therefore, although not impossible, it is difficult to determine solid angle opening analytically. The approach of a suitable example defines one mesh within between surface absentminded. This mesh expresses the source which exists on an object. Each point on a mesh expresses the particle flux reinforcement of a direction perpendicular to a mesh. Two kinds of mesh can be defined. The 1st is a semi-sphere mesh and is used for an incidence particle with the flux changed spatially. Each mesh point is defined in a semi-sphere mesh by a direction and the solid angle.

[0164] Such a semi-sphere mesh is shown in drawing 32 (a) and (b). Each mesh

point of a semi-sphere mesh is defined by angles  $\theta$  and  $\phi$ . This is shown in 1681 and 1683 of drawing 32 (a) and (b), respectively. The 2nd is the flat-surface mesh put on the distance of finite from surface. The reinforcement of the Iriki flux could use a flat-surface mesh for the simulation of the spatter deposition changed spatially. Each mesh point is defined by the real co-ordinates in a flat-surface mesh. An example of a flat-surface mesh is shown in drawing 32 (c). The mesh point on a mesh 1684 is defined by the coordinate point which constitutes a mesh so that it may be shown by the sign 1685.

[0165] The reinforcement of incidence flux is decided about each mesh point to these two kinds of mesh. Furthermore, it is confirmed about each surface point whether each mesh point is in sight. (It mentioned above) In order to calculate the visible component of a three-dimension unification equation, only the contribution from a visible point is included.

[0166] Drawing 32 (d) shows the technique which determines the mesh point of going into a shadow about each target point. In drawing 32 (d), the solid 1686 has the surface which consists of two or more triangles. A mesh 1687 is shown. Although a flat-surface mesh is used here, a semi-sphere mesh is sufficient. Furthermore, the target point 1689 and the triangle 1688 are shown. If a target point 1689 is projected on a mesh 1687 through the triangle face 1688, a result which a series of mesh points 1690 are identified will be brought. The mesh point 1690 in these single strings is not in sight at a target point 1689. Same count is performed to three square shapes each on the surface of a solid 1686.

[0167] Technique which was explained with reference to drawing 32 (d) takes time amount very much. And many triangles identified that a mesh point is in a shadow will overlap and come out. Moreover, for example, many triangles which one does not identify the mesh point in a shadow will also come out like the triangle in the same flat surface as a target point. The more efficient approach is shown in drawing 33. Also in drawing 33, the solid 1686 has the surface divided into the triangle. However, only the triangle which faced at the target point is used for mesh point shadow count. Here, the triangle 1692 by which the slash was drawn, for example, a

triangle, is not used for count. These triangles are because it does not face at a target point 1689. On the contrary, the triangle 1691 by which a slash is not drawn, for example, a triangle, is used in order to identify the mesh point of entering in a shadow since it faces at the target point.

[0168] Drawing 34 and drawing 35 (a), and (b) show the shadow count which identifies the mesh point which is in sight in the suitable example. Notice the approach explained here about it being applicable to the both sides of a flat-surface mesh and a solid sphere mesh. In drawing 34, all mesh points are initialized by "OFF" condition at the first step 1601. Since all the top-most-vertices points of solid surface receive shadowing count, it is necessary to initialize a mesh in starting one / the default condition. Next, in step 1602, a point shadow polygon is made about the target point on solid. This polygon is formed from the outer boundary of a series of faces which adjoin top-most vertices under consideration. Then, in step 1603, this polygon is projected on a source mesh flat surface. In step 1604, it changes the mesh point of not entering in the projected polygon into "ON" condition.

[0169] The step so far is shown in drawing 35 (a). In drawing 35 (a), the polygon 1641 of a target point 1640 is projected on the source flat-surface mesh 1650. The source flat-surface mesh 1650 has two or more mesh points. It is shown that a black ("ON") mesh point has this mesh point in a shadow about a target point. On the contrary, there is no white ("OFF") mesh point into a shadow. For example, the mesh points 1642-1647 are in a projection polygon, and are not into a shadow. Therefore, it is "OFF." Since it cannot be found into a projection polygon, other points 1648, for example, mesh point, it is "ON."

[0170] In order to determine other mesh points in a shadow, the effect of other parts of a configuration is taken into consideration. This is performed by analysis of an air solid. A triangle face is chosen [ 1st ] from an air solid at step 1605. This accesses air solid structure and is performed by investigating the face linked in face structure. Next, in step 1606, the selected triangle face is investigated and it is found whether it faces at the target point. Only the triangle face which faces at the target point receives future processings. Analysis of the air solid structure of this part of shadow

count is simplified by this. When the triangle face does not face at a target point, in step 1609, it is determined for this whether to be the last triangle face. When the triangle face faces at the target point, in step 1607, the triangle is projected on a source mesh. It changes into "ON" condition the mesh point found out in the projection triangle at step 1608. After the point shadow polygon projection mentioned above, last time, I hear that the effectiveness of this sets to "ON" some points which were "OFF", and it is.

[0171] Projection of the triangle face of an air solid is shown in drawing 35 (b). Here, the triangle face 1651 faces at the target point 1640. When it assumes that the part of the source flat-surface mesh 1652 which intersects projection of the triangle face 1651 was in "OFF" condition at first [ all ], it means that the projection triangle face had changed the mesh points 1654-1658 to "ON" condition.

[0172] In step 1609, the check of the triangle face of the last on air solid is performed. When it is not the triangle face of the last on air solid, it is step 1605, and other triangle faces on air solid are taken out, and processing is continued. If it is the triangle face of the last on air solid not right [ that ], shadowing to the present target point will be completed and the processing to the next target point will be repeated at step 1610.

[0173] Based on a projection polygon, how to change a mesh point into "OFF" condition is explained with reference to drawing 36. Such an approach is used for determining an "off-" mesh point, as shown in drawing 34. First, in step 1660, two points which define the edge of a projection polygon are identified. Next, in step 1661, a triangle is made using these edge top-most vertices and the coordinate point of defining the zero of a mesh. In step 1662, the condition of the mesh point in the made triangle is reversed. The check of last two contiguity is performed at step 1663. If it is not the last two points, processing will be repeated at step 1660. Processing will be ended if the two last becomes. This approach of changing a mesh point into "OFF" condition is only one of the techniques for making a mesh point into "OFF" condition. Other approaches could be used without deviating from the pneuma and the range of this invention.



[0174] From the projection polygon, the approach of making a mesh point off is shown in drawing 37 (a) - (f). In drawing 37 (a), polygon 1670b is projected on mesh 1670a, and has the top-most-vertices points 1671-1674. The zero 1675 of the axis of coordinates of mesh 1670a is also shown. A triangle 1676 is made by the top-most-vertices points 1671 and 1672 and the zero 1675 in drawing 37 (b). Notice the mesh point within the boundary of this triangle about it being in "OFF" condition from "ON" condition. A triangle 1677 is made by the top-most-vertices points 1672 and 1673 and the zero 1675 in drawing 37 (c). Again, the mesh point within the boundary of this triangle 1677 is in "OFF" condition from "ON" condition.

[0175] A triangle 1678 is made by the top-most-vertices points 1673 and 1674 and the zero 1675 in drawing 37 (d). Again, the mesh point within the boundary of this triangle 1678 is in "OFF" condition from "ON" condition. Probably, it will be clear that the number of the mesh points of "OFF" condition exceeded the boundary of the original projection quadrilateral shown in drawing 37 (a) even here. As this shows drawing 37 (e), it is corrected to it. Here, a triangle 1679 is made by the top-most-vertices points 1671 and 1674 and the zero 1675. Here, it changes into "ON" condition the mesh point which was in "OFF" condition before within the boundary of this triangle 1679. A series of mesh points of "OFF" condition acquired as a result are shown in drawing 37 (f).

[0176] the surface migration SUI ping method -- the suitable surface SUI ping method of an example is used for generating an air solid. A surface SUI ping here means moving each face which constitutes solid surface and producing deformation of an air solid. However, another example which was made to perform treating top-most vertices and producing deformation to the matter solid itself directly could also be carried out. Probably, such other examples are included in the pneuma and the range of this invention. Moreover, notice a surface SUI ping about differing from the concept of the SUI ping found out by the solid-modeling system. A surface SUI ping means solid deformation to a SUI ping meaning solid production.

[0177] The solid expressed by the boundary representation model is invalid if it becomes a self-crossover in response to a deformation process. An invalid expression

cannot be appropriately interpreted by the solid modeler. a solid expression serves as a self-crossover -- a result -- the case of structure where faces other than the face which a face adjoins are intersected -- it is . In a deformation process, when the top-most-vertices point is approached and located in a line, as for this, happening is common. The example from which such self-crossover structure was made is shown in drawing 38 (a) and (b). Although drawing 38 (a) and (b) are two-dimensional expressions, the same principle also as a three dimension is applied. Drawing 38 (a) shows the object 1701 which receives an etching process. The object 1701 is defined by the top-most-vertices points 1703-1714. The neck 1702 of an object 1701 will be removed between etching GUNFU processes. As mentioned above, a movement vector is calculated about each top-most-vertices point. As a result, structure is shown in drawing 38 (b). If it connects by the same approach as the top-most-vertices point before the moved top-most-vertices point moving, a result will serve as self-crossover structure of an invalid defined with points 1723-1734. It is because the face which the face which connected points 1724 and 1725 and was defined connected points 1729 and 1730, and 1731 and 1732, respectively, and was defined is intersected. Similarly, the face which connected points 1730 and 1731 and was defined intersects the face which connected points 1725 and 1726, and 1723 and 1724, respectively, and was defined.

[0178] In the suitable surface migration SU1 ping of an example, it avoids that self-crossover structure is made. It is performed by decomposing migration of all surface into migration of each segment. Such an approach is explained with reference to drawing 39 (a) and (b) about a two-dimensional case using the first structure shown in drawing 38 (a). As explained further in full detail below, in the suitable example, these segments are triangles (this is for making it correspond to the three-dimensional structure). However, the example to be explained from now on stands on the above-mentioned example, and the segment explained is a two-dimensional segment. Anyway, in drawing 39 (a), an etching step can begin and the 1st parallelogram 1801 is removed in practice. This moves the original top-most-vertices points 1703 and 1704 to the new top-most-vertices points 1723 and 1724,

between the solid defined by the original top-most-vertices point and the advance top-most-vertices point and the original solid 1701 (not shown), performs a Boolean set difference operation and is made. In drawing 39 (b), the 2nd parallelogram 1802 is removed in practice. As it moves to the new top-most-vertices points 1724 and 1725 and the original top-most-vertices points 1704 and 1705 were mentioned above, this performs a Boolean set difference operation and is performed. The original solid 1701 is divided into two separate solids, i.e., a solid 1803 and a solid 1804, at this time. In this way, self-crossover structure is not produced.

[0179] As mentioned above, by the suitable surface SUI ping method of an example, solid surface assumes that it is what is expressed with the triangle grid. A surface solid is triangle-izing and the grid-adjust step which were mentioned above, and is decomposed into a triangle surface face. Surface migration is repeatedly performed in actuation that surface migration moves one triangle at a time, over the whole surface of an object solid. In the case of the air solid, triangular migration contains the following step. Perform making a temporary solid using calculating a triangular peak shift, triangular original top-most vertices, and the top-most vertices after migration, and the Boolean set operation corresponding to the process step under activation between the temporary solids and original object solids which were produced. The maximum vector length of the peak shift made at once must be shorter than triangular minimum length's one half. Since there may be a time step how many, there is no limit in a peak shift in practice.

[0180] Drawing 40 (a) and (b) show the triangle (it is only henceforth called a sweep triangle) to which the sweep of [ on surface ] was carried out. The solid surface 1901 is divided into two or more triangles containing a triangle 1912 in drawing 40 (a). The triangle 1912 is defined by the top-most-vertices points 1902, 1903, and 1904. Drawing 40 (b) shows the solid (it is only henceforth called a sweep solid) 1911 corresponding to a triangle 1912 by which the sweep was carried out. The top-most-vertices points 1907, 1906, and 1905 are the advance top-most-vertices points corresponding to the top-most-vertices points 1902, 1903, and 1904, respectively. The diagonal lines 1908, 1909, and 1910 are used for triangle-izing four-side each

form surface of the sweep solid 1911. Notice triangle-ization about connecting and one side of 2 sets of diagonal points being made. As long as there is no conflict to a sweep contiguity solid, note that it is not a problem whichever it chooses a group. Note that triangle-ization must be performed so that an effective boundary representation model can be defined. The point of a quadrilateral is because there is generally nothing on the same flat surface.

[0181] Generally the surface moving method for a deposition process can be expressed as follows.

[0182]

[Equation 9] the O= Hara solid T= temporary solid  $S(i, j, k)$  = point  $P_i$ ,  $P_j$ , and  $P_k$  [from -- the formed sweep -- the total triangle on the surface which presupposes that it is solid, performs  $T=O$  and is described by  $(P_i, P_j, \text{ and } P_k)$  -- 0183]

[Equation 10]  $T=T \cup S(i, j, k)$

It performs.

[0184] At the loop-formation termination time, T is the solid equipped with the surface after migration.

[0185] Deposition is defined as follows by other description accompanied by deformation of an air solid.

[0186]

[Equation 11] OA -- the = Hara air solid TA= temporary air solid  $S(i, j, k)$  = point  $P_i$ ,  $P_j$ , and  $P_k$  [from -- the formed sweep -- the total triangle on the surface which presupposes that it is solid, performs  $TA=OA$  and is described by  $(P_i, P_j, \text{ and } P_k)$  -- 0187]

[Equation 12]  $TA=TA - S(i, j, k)$

additional matter solid =OA-TA -- new -- the quality of matter solid = old things -- solid U An additional matter solid is performed.

[0188] However, when what is added is the new matter, an additional matter solid turns into a new matter solid.

[0189] Also in etching, the Boolean set operations performed only differ and the rest is the same. In etching, the operation about a matter solid can be expressed as

follows.

[0190]

[Equation 13] the  $O =$  Hara solid  $T =$  temporary solid  $S(i, j, k) =$  point  $P_i, P_j,$  and  $P_k$  [from -- the formed sweep -- the total triangle on the surface which presupposes that it is solid, performs  $T=O$  and is described by  $(P_i, P_j,$  and  $P_k)$  -- 0191]

[Equation 14]  $T = T - S(i, j, k)$

It performs.

[0192] At the loop-formation termination time,  $T$  is the solid equipped with the surface after migration. On the other hand, about an air solid, an etching algorithm is defined as follows.

[0193]

[Equation 15]  $OA =$  the = Hara air solid  $TA =$  temporary air solid  $S(i, j, k) =$  point  $P_i, P_j,$  and  $P_k$  [from -- the formed sweep -- the total triangle on the surface which presupposes that it is solid, performs  $TA=OA$  and is described by  $(P_i, P_j,$  and  $P_k)$  -- 0194]

[Equation 16]  $TA = TA \cup S(i, j, k)$

$OA = TA$  new matter solid = nature solid of old things -  $TA$  is performed.

[0195] coincidence \*\*\*\* of deposition and etching -- in a physical process of a certain kind, a part of surface is etched and it may be said that deposition of other parts is carried out. In a suitable example, it is required in such deposition and the simulation of the synchronization of etching to produce a deposition solid and an etching solid about each face of surface first. In production with a deposition solid and an etching solid, it is required to produce a temporary deposition solid and a temporary etching solid about each face of surface first. Then, Boolean operation is performed between the temporary solid of the face under processing, and the temporary solid of a contiguity face. It is a time of an edge or top-most vertices adjoining that the face adjoins.

[0196] If all deposition solids and etching solids are made about all faces, a Boolean set sum operation will be performed between each deposition solid and a original solid, and the effectiveness of deposition will be formed. The effectiveness of etching

is simulated by performing a Boolean set difference operation between the solid generated in order to form the effectiveness of deposition, and each etching solid.

[0197] The description in the case of the synchronization of deposition and etching is made by drawing 41 and the following definitions.

[0198]  $O = \text{Hara solid } D(i, j, k) = \text{triangle}(i, j, k)$  Deposition sweep solid  $TD(i, j, k)$  been alike and related  $= \text{triangle}(i, j, k)$  Related temporary deposition sweep solid  $TD_n(i, j, k) = \text{triangle}(i, j, k)$  Temporary deposition sweep solid  $E(i, j, k) = \text{triangle}$  about the recently side  $n(i, j, k)$  Etching sweep solid  $TE(i, j, k) = \text{triangle}$  about  $(i, j, k)$  Related temporary etching sweep solid  $TE_n(i, j, k) = \text{triangle}(i, j, k)$  Temporary etching sweep solid drawing 41 about the recently side  $n$  It is the flow chart which describes the simulation process of the synchronization of deposition and etching in a detail further. First, in step 2001, a temporary deposition solid and a temporary etching solid are produced to each face on solid surface. Production with a temporary deposition solid and a temporary etching solid is explained below.

[0199] In step 2002, it is required by the approach of a suitable example to produce a deposition solid. The activation of a Boolean set difference operation between the temporary deposition solid about the face and the temporary etching solid about each contiguity face is included in production of the deposition solid about a face. Using the notation mentioned above, the following loop formations are used and a deposition solid is made.

[0200]

[Equation 17]  $D(i, j, k) = TD(i, j, k) - O$  is performed, and it is [0201] about all the triangles by the side of recently.

[Equation 18]  $D(i, j, k) = D(i, j, k) - TE_n(i, j, k)$  is performed.

[0202] At the time of loop-formation termination, it is  $D(i, j, k)$ . It becomes a deposition solid.

[0203] Next, in step 2003, an etching solid is produced about each face on surface solid. The activation of a Boolean set difference operation between the temporary etching solid about the face and the temporary DEPOSITION solid about each contiguity face is included in production of the etching solid about a face. Again, the

loop formation of etching solid production is defined as follows using the notation mentioned above.

[0204]

[Equation 19]  $E(i, j, k) = TE(i, j, k) \text{ ** } O$  is performed, and it is [0205] about all the triangles by the side of recently.

[Equation 20]  $E(i, j, k) = E(i, j, k) - TDn(i, j, k)$  is performed.

[0206] At the time of loop-formation termination, it is  $E(i, j, k)$ . It becomes an etching solid.

[0207] Steps 2002 and 2003 are repeated about all the faces on solid. In step 2004, it is confirmed whether the deposition solid and the etching solid were produced about the last face. If the deposition solid and the etching solid are not produced about the last face, steps 2002 and 2003 are repeated about the following face.

[0208] About each face, if production of a deposition solid and an etching solid is completed, a Boolean set sum operation will be performed starting with one of a original solid and the deposition solids. Then, a Boolean set sum operation is performed between the last result of an operation and one of the deposition solids of other. It is continued until an operation with each deposition solid is step 2005 and it completes this.

[0209] Finally, in step 2006, a Boolean set difference operation is performed between the solid obtained from step 2005, and each etching solid. Steps 2005-2006 will be described by the following loop formation using the notation mentioned above.

[0210]

[Equation 21]  $N = O$  -- performing -- all triangles on surface  $(i, j, k)$  [\*\*\*\*\* --  
0211]

[Equation 22]  $N = NUD(i, j, k)$   $N = N - E(i, j, k)$  is performed.

[0212] Non-manifold structure (non-manifold structure) In order to avoid being made, note further that triangular processing sequence is important. It is known that a certain kind of solid modeler cannot calculate a Boolean set operation about non-manifold structure. In the suitable example, three square shapes each after the first triangle must not touch the triangle moved previously and the triangle which

had to carry out at least 1 edge in common, and was moved previously by one point.  
[0213] Note that it is necessary to deal with each face by the sweep solid / Boolean set operation processing in operation of this approach. In order to save the processing time, it is good to treat in this way only at a self-crossover face. The decision of such a face is easily made by the "point Inn solid" algorithm.

[0214] Production of an etching solid is further explained to a detail as production of the temporary deposition solid about each face, and a temporary etching solid a result as a result of a deposition solid. As mentioned above, a temporary deposition solid and a temporary etching solid must produce about each face. When a triangle receives only deposition or etching, production of a temporary deposition solid or a temporary etching solid advances the top-most-vertices point, and only results in the problem of producing one temporary deposition solid or a temporary etching solid. When a triangle receives deposition and the both sides of etching, the both sides of a temporary deposition solid and a temporary etching solid are produced. In the triangle with which deposition and etching occur in coincidence, it is in \*\* that two of three top-most vertices receive a different process from other one top-most vertices. It turns out that production of a temporary deposition solid and a temporary etching solid can describe without conflict with the triangle defined by the original top-most-vertices point and the advance top-most-vertices point. P1, P2, and P3 define the original top-most-vertices point, and AP1, AP2, and AP3 define the corresponding advance top-most-vertices point. When two points (P1 and P2) receive deposition and other one point (P3) receives etching, a temporary deposition solid is produced by the following triangle.

[0215] P1, AP1, AP2P1, AP2, P2P1, AP1, AP3P2, and AP2 and AP3 -- AP1, AP2, AP3P1, P2, and an AP3 temporary etching solid are produced by the following triangle.

[0216] P3, AP3, AP1P3, and AP3 and AP2 -- when AP1, AP2, AP3P3, and AP1 and 22 AP (P1 and P2) receive etching and other one point (P3) receives deposition, a temporary deposition solid serves as the same structure as the temporary etching solid explained in the two-point deposition mentioned above. Similarly, a temporary



etching solid serves as the same structure as the temporary deposition solid explained in the two-point deposition mentioned above.

[0217] Drawing 42 (a) and (b) show production of a deposition solid and an etching solid two-dimensional [ about each face on object solid ]. In drawing 42 (a), the object solid 2101 has a face 2102 and this face has the contiguity faces 2105 and 2106. The temporary deposition solid 2104 about a face 2102 and the temporary etching solid 2103 are also shown in this drawing 42 (a). The temporary deposition solid 2108 about a face 2105 is shown in drawing 42 (b). Moreover, the temporary etching solid 2107 about a face 2106 is also shown. Production of the temporary deposition solid shown in drawing 42 (a) and (b) and a temporary etching solid was performed by [ as having mentioned above ].

[0218] Drawing 43 (a) shows production of the deposition solid about a face 2102. As mentioned above, a Boolean difference operation is taken as the 1st step between the original solid 2101 and the temporary deposition solid 2104 about a face 2102. In drawing 43 (a), (b), and drawing 44 (a) and (b), the broken line which shows the appearance of original solid surface is drawn in order to give the conformity frame of the location of a temporary deposition solid and a temporary etching solid. Anyway, the result of this 1st Boolean difference operation is shown as a middle deposition solid 2201. Next, in drawing 43 (b), the 2nd step of a Boolean difference operation is performed between the generated middle deposition solid 2201 and the temporary etching solid of a contiguity face. Here, the only contiguity etching solid is found out on a face 2106 as a temporary etching solid 2107. Consequently, the deposition solid 2202 about a face 2102 is produced. Note that a part of middle deposition solid 2201 is removed by the Boolean set difference operation. This shows the effectiveness of etching to a contiguity face.

[0219] Drawing 44 (a) and (b) show production of the etching solid about a face 2102. In drawing 44 (a), a Boolean set product operation is performed between the temporary etching solid 2103 and the original solid 2101. Consequently, the middle etching solid 2301 is produced. Next, in drawing 44 (b), a Boolean set difference operation is taken between this middle etching solid 2301 and the temporary

deposition solid 2108 of a face 2105. Consequently, the etching solid 2302 is produced about the face 2102. Here, note that a part of middle etching solid 2301 is removed by the Boolean set difference operation. This shows the effectiveness of etching to a contiguity face.

[0220] The approach of simulating deformation of the matter layer on the wafer in a manufacture process step was indicated. The both sides of isotropy, anisotropy deposition, and an etching process step will be simulated using the generalized solid-modeling method.

[0221]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the limitation of the CTS method is cancelable. Moreover, the solid expression which harmonizes with other components of a process-simulation environment well is producible.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] (a) - (c) is drawing having shown the description configuration produced by deposition, etching, and the sputter etching process step, and (d) is drawing having shown the void produced between deposition process steps.

[Drawing 2] It is drawing having shown the computer system by which the suitable example of this invention is carried out.

[Drawing 3] (a) is drawing having shown VLSI as a set of the matter solid and object which are used in the suitable example of this invention, and (b) is drawing having shown the basic system structure of the suitable example of this invention.

[Drawing 4] It is the operation flow chart of the suitable example of this invention.

[Drawing 5] (a) - (c) is drawing having shown the Boolean set operation used in the suitable example of this invention.

[Drawing 6] It is drawing having shown the half edge DS for expressing the matter solid used in the suitable example of this invention.

[Drawing 7] It is drawing having shown the adjoining top-most vertices used in the suitable example of this invention, and a face, and (a) is drawing having shown the multilayer / multi-matter wafer structure simulated within the suitable example of this invention, and an air solid, and (b) is the exploded view of the wafer structure of (a), and an air solid.

[Drawing 8] (a) and (b) are drawings having shown the completion configuration of the addition solid made from the suitable example of this invention.

[Drawing 9] It is the flow chart which shows the outline of the step of triangle-izing of the polygon face of the object solid used in the suitable example of this invention.

[Drawing 10] (a) - (e) is drawing having shown triangle-ization of the polygon (square which has a square hole here) used in the suitable example of this invention.

[Drawing 11] (a) - (f) is drawing which is used in the suitable example of this invention and in which having shown the grid adjust made by triangle-ized processing of drawing 9.

[Drawing 12] (a) - (d) is drawing having shown the deposition process step used in the suitable example of this invention, using a Boolean set operation, it adds to the existing matter or this deposition process step adds a new matter solid.

[Drawing 13] (a) - (d) is drawing having shown the etching process step using a Boolean set operation used in the suitable example of this invention.

[Drawing 14] It is drawing having shown the context of the variable of the three-dimension unification equation (unified equation) for determining the deposition rate or etch rate used in the suitable example of this invention.

[Drawing 15] (a) and (b) are drawings having shown the flat-surface reducing method for reducing the number of the flat surfaces processed when using the efficient approach for a peak shift, and this is used in the suitable example of this invention.

[Drawing 16] When using the efficient approach for a peak shift, it is drawing having shown the flat-surface reducing method for reducing the number of the flat

surfaces processed, and this is used in the suitable example of this invention.

[Drawing 17] (a) and (b) are drawings having shown the flat-surface reducing method enforced in the suitable example of this invention, and are the case where it becomes less than three flat surfaces, as a result of reduction.

[Drawing 18] It is drawing having shown the flat-surface reducing method enforced in the suitable example of this invention, and is the case where it becomes less than three flat surfaces, as a result of reduction.

[Drawing 19] It is the flow chart which is used in the suitable example of this invention and which shows the efficient method of deciding the location of a peak shift.

[Drawing 20] (a) and (b) are drawings which are used in the suitable example of this invention and in which having shown the efficient method of deciding the location of a peak shift.

[Drawing 21] It is drawing which is used in the suitable example of (a) and (b) this invention and in which having shown the efficient method of deciding the location of a peak shift.

[Drawing 22] (a) is drawing having shown migration of the adjoining flat surface in one top-most vertices, and the crossover structure acquired as a result, and (b) and (c) are drawings which are used in the suitable example of this invention and in which having shown the highly precise method of deciding the location of a peak shift.

[Drawing 23] It is the flow chart which is used in the suitable example of this invention and which shows the highly precise method of deciding the location of a peak shift.

[Drawing 24] (a) - (c) is drawing which is used in the suitable example of this invention and in which having shown the highly precise method of deciding the location of a peak shift.

[Drawing 25] It is the flow chart which shows the approach of the peak shift which is used in the suitable example of this invention, and which is a different etch rate and is performed by the interface of two matter.

[Drawing 26] (a) and (b) are drawings showing the example which is used in the suitable example of this invention, and which showed the peak shift which is a different etch rate and is performed by the interface of two matter by two-dimensional.

[Drawing 27] (a) - (d) is drawing showing the example which is used in the suitable example of this invention, and which showed the peak shift which is a different etch rate and is performed by the interface of two matter by two-dimensional.

[Drawing 28] (a) - (c) is drawing which is performed in the suitable example of this invention and in which having shown the operation of the movement vector of division interface top-most vertices by two-dimensional.

[Drawing 29] (a) - (c) is drawing which is performed in the suitable example of this invention and in which having shown the two-dimensional example which illustrates the operation of the movement vector of interface top-most vertices.

[Drawing 30] (a) - (c) is drawing which is performed in the suitable example of this invention and in which having shown the two-dimensional example which illustrates the operation of the movement vector of interface top-most vertices.

[Drawing 31] (a) - (d) is drawing which is performed in the suitable example of this invention and in which having shown the operation of the movement vector of interface top-most vertices according to the three dimension.

[Drawing 32] It is drawing [ having shown an approach fundamental / for determining the mesh point in a shadow / being drawing / having shown a flat-surface / using by the particle / (a), and (b) being drawings / having show a semi-sphere / use by the particle / perform in an example suitable / of this invention / flux shadowing operation / mesh /, and performing ( c) in an example suitable / of this invention / flux shadowing operation / mesh /, and performing (d) in an example suitable / of this invention ].

[Drawing 33] It is drawing which is performed in the suitable example of this invention and in which having shown the efficient approach for determining the mesh point in a shadow.

[Drawing 34] It is the flow chart for explaining the step of particle flux shadowing

performed in the suitable example of this invention.

[Drawing 35] (a) and (b) are drawings having shown the approach of particle flux shadowing explained with reference to drawing 32 (a).

[Drawing 36] It is the flow chart explaining the step which carries out the turn-off of the shadow mesh point performed in the suitable example of this invention.

[Drawing 37] (a) - (f) is drawing having shown how to carry out the turn-off of the shadow mesh point of having explained with reference to drawing 36 .

[Drawing 38] (a) and (b) are drawings having shown solid structure, and are the case where it becomes invalid self-crossover structure by the peak shift.

[Drawing 39] (a) and (b) are drawings having shown the surface SUI ping method which is performed in the suitable example of this invention, and which does not make self-crossover structure.

[Drawing 40] (a) and (b) are drawings having shown the solid with the original coordinate point and the advance (advanced) coordinate point as a result of corresponding to the triangle moved on solid surface, and this is used in the suitable example of this invention.

[Drawing 41] It is a flow chart explaining the step of a surface SUI ping when deposition and etching are performed to coincidence, and what is performed in the suitable example of this invention is shown.

[Drawing 42] (a) and (b) are drawings having shown the object solid used in the suitable example of this invention with the temporary deposition and the etching solid corresponding to the faces and these faces.

[Drawing 43] (a) and (b) are drawings having shown production of the deposition solid corresponding to a face in the object solid illustrated to drawing 42 (a), and show what is used in the suitable example of this invention.

[Drawing 44] (a) and (b) are drawings having shown production of the etching solid corresponding to a face in the object solid illustrated to drawing 42 (a), and show what is used in the suitable example of this invention.

[Description of Notations]

101 Configuration

102 Configuration  
103 Top-most Vertices  
104 Top-most Vertices  
105 Point  
106 Point  
107 Convex Crossing  
108 Convex Crossing  
109 Corresponding Points  
110 Corresponding Points  
121 Configuration  
122 Configuration  
123 Point  
124 Point  
125 Top-most Vertices  
126 Top-most Vertices  
127 Corresponding Points  
128 Corresponding Points  
129 Convex Crossing  
130 Convex Crossing  
141 Configuration  
142 Configuration  
143 Field  
144 Field  
145 Field  
146 Field  
150 Metal Line  
151 Layer  
152 Layer  
153 Layer  
154 Void

201 Bus  
202 Processor  
203 RAM  
204 ROM  
205 Keyboard  
206 Cursor Control  
207 Data Storage  
208 Display  
209 Hard Copy Unit  
301 Object Solid  
302 Object Solid  
303 Air Solid  
321 Front End User Interface  
322 Solid-Modeler System  
323 Surface Migration  
324 Triangle-izing and Grid Adjust  
325 Flux Shadowing Model  
326 Graphics  
501 Solid  
502 Solid  
503 Boolean Sum  
504 Boolean Product  
505 Boolean Difference  
601 Solid Structure  
602 Face Structure  
603 Edge Structure  
604 Top-most-Vertices Structure  
605 Loop Structure  
606 Half Edge Structure  
607 Adjoining Top-most-Vertices Structure List



608 Matter Information Structure  
609 Contiguity Face Structure  
610 Contiguity Edge Structure List  
615-617 Pointer  
701 Silicon Solid  
702 Oxidizing Zone  
704 Metal Layer  
705 Air Layer  
706 Face  
707 Face  
708 Top-most Vertices  
709 Top-most Vertices  
710 The First Matter Solid  
711 The Existing Substrate  
712 Matter Solid  
821 Outer Loop  
822 Inner Loop  
823 Top-most-Vertices Point  
824 Top-most-Vertices Point  
825 New Edge  
826 New Edge  
827 Top-most-Vertices Point  
828 Top-most-Vertices Point  
829 2nd New Edge  
830 edges  
831 Triangle  
832 Polygon  
901 Edge  
902 Top-most-Vertices Point  
903 New Edge

904 New Edge  
905 Adjoining Top-most-Vertices Point  
906 Adjoining Top-most-Vertices Point  
910 Short Edge  
911 Top-most-Vertices Point  
912 Top-most-Vertices Point  
913 Edge  
914 Edge  
920 Edge  
921 Triangle  
922 Top-most-Vertices Point  
923 Top-most-Vertices Point  
924 New Edge  
1001 Matter  
1002 Air Solid  
1003 New Air Solid  
1004 New Matter  
1005 Matter  
1051 Solid of Matter 1  
1052 Solid of Matter 2 (the Maximum Upper Layer)  
1053 Air Solid  
1054 New Air Solid  
1055 New Matter 1  
1056 New Matter 2  
1101 Calculating Point  
1102 Horizontal Plane  
1103 Horizontal Axis  
1104 Vertical Axes  
1105 Surface Normal  
1106 Corpuscular Ray (the Direction of Incidence)

1107 Angle Theta  
1108 Angle ThetaS  
1109 Angle PsiS  
1110 Angle Psi  
1111 Production  
1201 Top-most-Vertices Point  
1202-1205 Adjoining flat surface  
1206-1209 Edge  
1210 Top-most-Vertices Point  
1211 Edge  
1213 Top-most-Vertices Point  
1214 Crossing  
1215-1218 Flat surface  
1219 New Edge  
1230 Top-most-Vertices Point  
1231-1234 Adjoining flat surface  
1235-1238 Flat surface  
1239 Top-most-Vertices Point  
1240 Top-most Vertices  
1241 1242 Crossing  
1351 Top-most-Vertices Point  
1352-1354 Flat surface  
1355 Unit Vector  
1356 Line AR  
1357-1359 Surface normal  
1360 Point R  
1372-1374 Flat surface  
1375 Station Q  
1376 1st Observation Vector  
1377 Point

1380 Virtual Flat Surface  
1390 Bar  
1391 Crossing of the Maximum \*\*  
1401-1404 Surface  
1405 Top-most-Vertices Point  
1406-1410 TORAJIEKUTORI  
1440-1445 Surface flat surface  
1446 Advance Surface  
1447 Surface  
1448 Advance Surface  
1449 Crossover Area  
1450 1451 Endpoint  
1452 1453 TORAJIEKUTORIPOINTO  
1454 Edge  
1460 1461 Surface  
1462 Invalid Section  
1463 Invalid Section  
1464 Crossover  
1470 Top-most Vertices  
1471 Test Flat Surface  
1472 TORAJIEKUTORI of Top-most-Vertices Point 1470  
1473 Surface Flat Surface  
1474 Two-dimensional Combination Solution  
1520 Interface Top-most Vertices  
1521 Matter A1522 Matter B  
1523 1524 Top-most vertices  
1525 Interface Top-most Vertices  
1526 Migration Community Plane Peak Point  
1527 1528 Division interface top-most vertices  
1529 Correspondence Movement Vector

1530 Division Interface Movement Vector  
1531 Moving Boundary Vector  
1532 Division Interface Movement Vector  
1533 Correspondence Movement Vector  
1534 1535 Broken line  
1536 1537 Movement vector  
1538 Broken Line  
1539 Top-most-Vertices Point  
1540 Perpendicular Flat Surface  
1541 1542 Real surface flat surface  
1543 Perpendicular Flat Surface  
1544 Top-most Vertices  
1545 1546 Real surface flat surface  
1547 Perpendicular Flat Surface  
1548 Movement Vector  
1549 Perpendicular Flat Surface  
1550 Movement Vector  
1551-1553 Level triangle segment  
1554-1556 Perpendicular triangle segment  
1557-1559 Level triangle segment  
1560 Migration Community Plane Peak Point  
1561 Division Interface Top-most Vertices  
1562 Point  
1563 1564 Interface edge vector  
1565 Perpendicular Flat Surface  
1566 Movement Vector  
1567 Perpendicular Flat Surface  
1568 Movement Vector  
1570 1571 Movement vector  
1640 Target Point

1641 Polygon  
1642-1647 Mesh point  
1648 Mesh Point  
1650 Source Flat-Surface Mesh Point  
1651 Triangle Face  
1652 Source Flat-Surface Mesh  
1654-1658 Mesh point  
1680 Semi-sphere Mesh  
1681 Angle Phi  
1682 Flat-Surface Mesh  
1683 Angle Theta  
1684 Mesh  
1685 Mesh Point  
1686 Solid  
1687 Mesh  
1688 Solid  
1689 Target Point  
1690 A Series of Mesh Points  
1691 1692 Triangle  
1670a Mesh  
1670b Polygon  
1671-1674 Top-most-vertices point  
1675 Zero  
1676-1679 Triangle  
1701 Object  
1702 Neck  
1703-1714 Top-most-vertices point  
1723-1734 Top-most-vertices point  
1801 1st Parallelogram  
1802 2nd Parallelogram

1803 1804 Solid  
1901 Solid Surface  
1902-1907 Top-most-vertices point  
1908-1910 Diagonal line  
1911 Sweep Solid  
2101 Object Solid  
2102 Face  
2103 Temporary Etching Solid  
2104 Temporary DEPOJISSHON Solid  
2105 2106 Contiguity face  
2107 Temporary Etching Solid  
2108 Temporary DEPOJISSHON Solid  
2201 Middle Deposition Solid  
2202 Deposition Solid  
2301 Middle Etching Solid  
2302 Etching Solid

---

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-52270

(43)公開日 平成6年(1994)2月25日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 6 F 15/60

// H 0 1 L 21/302

識別記号

4 5 0

庁内整理番号

7922-5L

A 9277-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数10(全 46 頁)

(21)出願番号 特願平5-121656

(22)出願日 平成5年(1993)5月24日

(31)優先権主張番号 9 0 4 0 0 5

(32)優先日 1992年6月24日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(71)出願人 593096712

インテル コーポレーション

アメリカ合衆国 95052 カリフォルニア

州 サンタ クララ ミッション カレッ

ジ ブールバード 2200

(72)発明者 田沢 聡

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

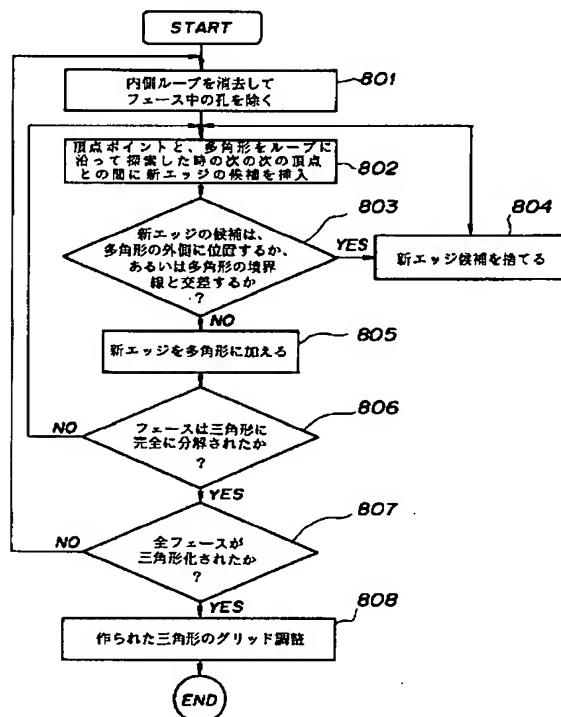
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 三角形グリッドの生成方法

(57)【要約】

【目的】 シミュレーションの精度を向上させる。

【構成】 好ましい実施例の方法は、多角形面により規定される任意の穴を除去するステップと、その多角形面の第1および第2の頂点の間に新しい辺を置くステップと、新しい辺がその多角形面の外側にあるか、あるいは新しい辺がその多角形の現行の辺と交差する場合、新しい辺を破棄するステップと、新しい辺がその多角形面の外側でない場合、新しい辺をその多角形面に追加するステップと、その多角形の新しい辺と現行の辺により生成される三角形を識別するステップと、三角形を生成する辺から新しい多角形を形成するステップと、多角形の面が全て三角形化されるまで上記ステップを繰り返すステップとを備えている。一度、多角形の三角形化が完了すると、一樣な大きさの三角形のみを有するように三角形を調整する。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多角形面を有するサーフェスの三角形グリッド表現を生成する方法において、

- a) 多角形面を三角形化手段に供給するステップと、
- b) 前記多角形面の穴を除去するステップと、
- c) 前記多角形面の第1および第2頂点の間の仮の辺を位置させるステップと、
- d) 前記仮の辺の無効な条件を試験するステップと、
- e) 無効条件が存在する場合、前記仮の辺を破棄するステップと、
- f) 無効条件が存在しない場合、前記仮の辺を前記多角形面に追加するステップと、
- g) 前記仮の辺が第1辺である三角形面を前記多角形から取り出すステップと、
- h) 前記三角形面を前記三角形グリッドに追加するステップと、
- i) 前記多角形面を前記三角形面を除いて再定義するステップとを備えたことを特徴とする方法。

【請求項2】 多角形面が外側ループとして表現され、穴が内側ループとして表現され、前記穴を前記多角形面から除去するステップは、新しい辺を外側ループ頂点と内側ループ頂点との間に挿入するステップをさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記無効条件は、前記新しい辺が多角形面境界の外側にある第1条件と、前記新しい辺が前記多角形面境界と交差する第2条件とを含むことを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】 前記三角形グリッドを調整し指定されたサイズの範囲内に三角形を生成するステップをさらに備えたことを特徴とする請求項3に記載の方法。

【請求項5】 前記三角形グリッドを調整し指定されたサイズの範囲内に三角形を生成する前記ステップは、

- a) その長さが予め定めた長さXを超える長い辺を識別するステップと、
- b) 新しい頂点を前記長い辺の中点に挿入するステップと、
- c) 前記新しい頂点と、前記長い辺に関連する第1三角形に対応する第1頂点との間に第1の新しい辺を追加するステップと、
- d) 前記新しい頂点と、前記長い辺に関連した第2三角形に対応する第2頂点との間に第2の新しい辺を追加するステップとをさらに備えたことを特徴とする請求項4に記載の方法。

【請求項6】 前記三角形グリッドを調整し指定されたサイズの範囲内に三角形を生成する前記ステップは、

- a) 予め定めた長さYを超えない短い辺を識別するステップと、
- b) 前記短い辺に沿って移動された頂点の位置を選択するステップと、
- c) 前記短い辺に隣接した辺であって、その辺を除去す

ることにより、元の構成の形状を最も良く維持する辺を識別するステップと、

- d) 移動された頂点を前記移動された頂点位置に挿入するステップと、
- e) 前記短い辺を削除して、前記短い辺に隣接する全ての辺を前記移動された頂点に隣接させるステップと、
- f) ステップc)で識別された辺を削除するステップとをさらに備えたことを特徴とする請求項5に記載の方法。

【請求項7】 前記三角形グリッドを調整し指定されたサイズの範囲内に三角形を生成する前記ステップは、

- a) 高さZを超えない高さを有する短い三角形を識別するステップと、
- b) 前記短い三角形の最も小さい角度に隣接する辺を識別し、前記辺は前記短い三角形の第1頂点と前記短い三角形の第2頂点とを含むステップと、
- c) ステップb)で識別された前記辺を削除するステップと、

- d) 前記短い三角形の第3頂点と隣接するの三角形の対応する頂点との間に辺を挿入するステップとをさらに備えたことを特徴とする請求項6に記載の方法。

【請求項8】 前記長さXは生成される三角形の辺の長さの標準値の160%であることを特徴とする請求項5に記載の方法。

【請求項9】 前記長さYは生成される三角形の辺の長さの標準値の60%であることを特徴とする請求項6に記載の方法。

【請求項10】 前記高さZは生成される三角形の辺の長さの標準値の28%であることを特徴とする請求項7に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、CAD (Computer Aided Design)の分野に係り、特に、3次元ソリッドモデリングを用いて集積回路の製造をシミュレートする方法に関する。

【0002】なお、本明細書の記述は本件出願の優先権の基礎たる米国特許出願07/904, 005号の明細書の記載に基づくものであって、当該米国特許出願の番号を参照することによって当該米国特許出願の明細書の記載内容が本明細書の一部を構成するものとする。

【0003】

【従来の技術】集積回路製造のコンピュータシミュレーションは、一般に、プロセスシミュレーションと呼ばれている。プロセスシミュレーションは、集積回路を設計、製造する上で価値のある手段である。これは、設計時間の節約、実験と製造コストの減少といった利点をもっている。プロセスシミュレーションは、実際には、製造過程における一連のデポジション（すなわち物質を堆積すること）、エッチング（すなわち物質を除去するこ

と)、リソグラフィ、その他のプロセスステップの半導体ウェハへの効果を決定するという作業をともなっている。大まかにいえば、プロセスシミュレーションは、トポグラフィシミュレーションとバルクプロセスシミュレーションとに大別される。トポグラフィシミュレーションは、デポジション、エッチング、およびリソグラフィのようなプロセスステップとともに用いることができ、主に、半導体ウェハを含む物質の形状変化に関わるものである。バルクプロセスシミュレーションは、拡散、イオン注入および酸化といったようなプロセスとともに使用することができ、主に、半導体素子中でのドーパント不純物の再分配に関するものである。酸化は、実際には、形状にもドーパント不純物の分配にも影響する、中間事項である。

【0004】プロセスシミュレーションの応用の一つは、ウェハ構造のコンピュータ表現を創り出し、他の分析プログラムで使用できるようにすることである。このような分析プログラムは、これによって、電気特性、温度特性、機械特性などの、素子の特性を計算することができる。

【0005】半導体素子の設計において、素子を正確に動作させるものは、得られた構造の形状と組成である。半導体ウェハを含む各層を製造過程において見ることは、不都合な形状とか結果を識別する上で有効である。たとえば、ある層のエッチングが深過ぎて次の層を露出してしまうような場合、この不都合は目視によって容易に検出できる。これによって、高価で時間のかかる他のウェハ製造および検査方法を避けることができる。そのうえ、コンピュータシミュレーションは、電子顕微鏡でしか見られないようなものを、見るようにしてくれる。

【0006】トポグラフィシミュレーションは、異なったプロセス技術の各ステップ中に、さまざまな形状が生じてくるという事実によって、複雑なものとなる。図1(a)～(c)は、凹凸面界面で作られるさまざまな形状を示している。凸面界面とは、面の外サーフェスが180度より大きいものをいう。凹面界面とは、面の外サーフェスが180度よりも小さいものをいう。図1

(a)を参照すると、形状102を有する原物質が、等方性エッチングプロセスステップを経て形状101となる。形状102の頂点103および104は、2つの面の凹面交差に位置している。これらの面は、頂点103および104において90度の角(すなわち鋭角)をなしていることに注意されたい。この凹面界面が等方性エッチングプロセスを経た結果できた界面、すなわち点105および106は、形状101で示すように丸くなっている。しかしながら、形状102の凸面交差点107および108を、形状101のそれらの対応点109および110と比較すると、90度(鋭角)エッジが保たれていることが分かる。

【0007】図1(b)は、等方性デポジションプロセスステップにおける形状変化を示す。形状122の頂点125および126は、2つの面の凹面交差に位置している。これらの面は、頂点125および126において90度の角(すなわち鋭角)をなしていることに注意されたい。この凹面界面が等方性デポジションプロセスを経た結果できた界面、すなわち点123および124は、形状121で示すように90度(鋭角)エッジを保っている。しかしながら、凸面交差点129および130を、それらの対応点127および128と比較すると、丸いエッジとなることが分かる。

【0008】図1(c)は、スパッタエッチングの結果作られる形状を示している。スパッタエッチングでは、エッチング速度は、エッチング粒子(etching particle)の軌跡方向に対するサーフェスの向きに依存する。サーフェスの向きが45度から80度の範囲で、エッチング速度が最大となるのが普通である。それはともかく、形状141をもつ物質へのスパッタエッチングによって、新しい形状142をもつ物質が得られる。とくに興味深い点は、面143および144が、面145および146によって示すように、曲げられてやや丸くなるという事実である。これは、面141の各部に当たるエッチング粒子のエッチング速度の角度依存性によるものである。これによって、図に示すような形状142ができる。

【0009】正確にシミュレートしなければならないウェハの他の条件は、ボイド(void)である。ボイドは、デポジションプロセスステップ中で発生する。この種のボイドが図1(d)に示されている。図1(d)において、メタル線150は、酸化膜デポジションによって次の層から分離されるべきものである。このデポジションは、連続して何層かにわたって行われるが、ここではこれらの層は151、152および153として示されている。層151と152の間に、ボイド154ができる。ウェハ中にボイドが無いことが望ましい。たとえば、製造過程において、ボイドはガス蓄積源になり、それが後ほど開放されてウェハの一部を破壊するおそれがある。

【0010】2次元プロセスシミュレーションは、技術上周知であり、広く用いられている。この種の従来技術による2次元プロセスシミュレーションツールとしては、SUPREM(スタンフォード大学から入手可能)、およびSAMPLE(カルフォルニア大学のバークレー校から入手可能)がある。しかしながら、2次元プロセスシミュレーションが所望のシミュレーション結果をすべて与えるわけではない。たとえば、回路の小型化が進むにつれて、2次元プロセスシミュレータは、ある種の形状(features)、たとえば、穴の回りの形とか、メタル線の交差点とかの形状を、正確に予測する能力に欠けていることが分かってきた。より正確で完全なシミ

ュレーション結果を得るためには、3次元プロセスシミュレーションが望ましい。

【0011】3次元プロセスシミュレーションツールは、技術上周知である。このような3次元プロセスシミュレーションツールのひとつは、Oyster system である。Oyster system は、IBM社で内部的に使用されているプロセスシミュレーションツールであり、題名が、“OYSTER : 3次元構造としての集積回路の研究”，G.M. Koppelman and M.A. Wesley, IBM Journal of Research and development 276, NO.2, 149 - 163 ページ (1983) という記事に詳しく説明されている。Oysterシステムは、ソリッドモデリングのより一般的な概念に基づいている。Oysterシステムにおいては、形状モデルは、ソリッドとして、ウェハの形状を含む物質を表している。形状は、幾何学的な演算（すなわちブール集合演算）を用いることによって、変化させることができる。Oysterシステムは、シミュレーションのための基本演算およびデータ構造を与える、一般的なソリッドモデリングツールを基本として構成される。

【0012】Oysterシステムは、幾何学的オブジェクトを形成するために、累積並進掃引(Cumulative Translational Sweep: CTS)の理論構成を使用している。CTSは、ブール集合演算と組み合わせて使用され、幾何学的オブジェクトの境界領域上の太らせと細らせとをシミュレートする。Oysterシステムのこの手法(aspect)は、CTS法と呼ばれ、以下の題名の刊行物に詳しく説明されている。“Shaping Geometric Objects by Cumulative Translation Sweeps”, R.C. Evans, G. Koppelman, V. T. Rajan, IBM Journal of Research and Development, pgs. 343-360, Volume 31, No. 3, May 1987、および米国特許 No. 4,785,399, “Shaping Geometric Objects by Cumulative Translational Sweeps”上述したように、CTS法は、シェーピング多面体（またはシェーピングオブジェクト）を用いて、ソリッドオブジェクトの多面体表現の境界領域上に演算を行う。CTS法で要求されることは、多面体をゾーントープのポリトープファミリーから形成するという点である。一般的に、CTS法は、次のようなステップを用いたサーフェス移動を与える。

【0013】1. (シェーピング多面体を形成する) 並進ベクトル(translation vectors)の集合を定義する。これらのベクトルは、所望のサーフェス移動の特性を示している。

【0014】2. 並進ベクトルに沿って、原オブジェクトをスweepし、原オブジェクトを含む中間ソリッドをつくる。並進ベクトルが一つしかない場合は、これが新しいソリッドになる。

【0015】3. 残りの並進ベクトルに沿って、前の中間ソリッドをスweepする。

【0016】CTS法は、並進ベクトルに沿ってオブジ

ェクト全体を一度にスweepする。このため、CTS法は、場所毎に変化するエッチング速度やデポジション速度をとまなうプロセスステップのシミュレーションを与えるものではない。場所によって変化するプロセスステップの一例は、スパッタデポジションである。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】3次元トポグラフィシミュレーションに対して、ソリッドモデリングアプローチを使用することは、一般的な市販の3次元ソリッドモデリングシステムを利用できることから、望ましいことである。しかしながら、このようなシステムにおけるソリッドのデータ表現は、正確で効果的なトポグラフィシミュレーションに必要な構造を作成しかつ処理するには、理想的なものとはいえないであろう。特に、隣接した物質を表現するためのデータ構造は、一般に、利用できない。

【0018】(エッチングまたはデポジションのシミュレーションで起きる) サーフェス変形を扱う現在の技術も、また、理想的なものとはいえない。たとえば、ソリッドを表すために、境界表現モデルがよく使用される。このような表現は、そのソリッドの境界が交差する場合、すなわち、表現が自己交差となる場合には、役に立たない。この表現は、プロセスステップ中に再形成される場合にも、役立たなくなることもあろう。このような無効表現によって、正確なシミュレーション結果を作り出せなくなり、ソリッドモデリングシステムによるそれ以上の処理には意味をもたなくなるであろう。

【0019】3次元トポグラフィシミュレーション用の、他の数種のモデリング技術が技術的に周知である。すなわち、光線追跡モデル、セルモデル、ネットワークモデル、拡散モデルおよびストリングモデルである。光線追跡モデルは、今のところホトリソグラフィプロセスステップに使用されているだけなので、ここではその詳細は省略する。

【0020】セルモデルは、3次元デポジションおよびエッチングシミュレーションで使用されている。しかしながら、セルモデルは、曲面を十分に表現できないことが分かっている。ネットワークモデルは、セルモデルの改良であり、サーフェスの各点がサーフェス4面体セルの各エッジ上で定義される。拡散モデルも、やはり、セルモデルの改良であり、サーフェスを定義するのに集中輪郭線(concentration contour)を使用している。しかしながら、ネットワークモデルも、拡散モデルも、セルモデルと同様、プロセスステップ中に生じる曲面を正確に扱うことは、困難であることが分かっている。

【0021】ストリングモデルもまた、優秀なアプローチであるが、無効自己交差構造を作り出すことが多い。このような自己交差構造を修正する技術も開発されているが、非常に複雑なものである。

【0022】トポグラフィシミュレーションツールの他

の考察事項は、プロセスシミュレーション環境の他の構成部分とのコンパティビリティの問題である。上述したように、トポグラフィシミュレーションは、プロセスシミュレーションの1つの構成部分に過ぎない。よく調和したプロセスシミュレーション環境を造るためには、プロセスシミュレーション環境が、全体として改良されるように、トレードオフがなされなければならない。このような改善は、プロセスシミュレーション環境の構成部分の一つを損なうようなものかもしれない。

【0023】本発明の目的は、CTS法の限界を対処する、3次元トポグラフィシミュレーションツールを提供することである。さらに、本発明の他の目的は、プロセスシミュレーション環境の他の構成部分とよく調和する、ソリッド表現を作製することである。

【0024】

【課題を解決するための手段】対象物を表す物質がソリッドとして表現される3次元トポグラフィシミュレーションシステムにて、ソリッドサーフェスの均斉のとれたグリッド表現を生成する方法が開示されている。シミュレーション中のソリッドの操作で生じるエラーを最小限にするため、ソリッドサーフェスを均斉のとれた三角形グリッドで表現するのが望ましい。ソリッドが最初に生成されると、ソリッドのサーフェスは一樣でないサイズの種々の多角形を有する複数の面を備えることができる。本発明に係る方法は、形状が三角形であって、その大きさがあらかじめ定めた範囲内にある面を有するより均斉のとれたグリッドを生成する。

【0025】ソリッドサーフェス上の各多角形面に対して、好ましい実施例の方法は、多角形面により規定される任意の穴を除去するステップと、その多角形面の第1および第2の頂点の間に新しい辺を置くステップと、新しい辺がその多角形面の外側にあるか、あるいは新しい辺がその多角形の現行の辺と交差する場合、新しい辺を破棄するステップと、新しい辺がその多角形面の外側でない場合、新しい辺をその多角形面に追加するステップと、その多角形の新しい辺と現行の辺により生成される三角形を識別するステップと、三角形を生成する辺から新しい多角形を形成するステップと、多角形の面が全て三角形化されるまで上記ステップを繰り返すステップとを備えている。一度、多角形の三角形化が完了すると、一樣な大きさの三角形のみを有するように三角形を調整する。

【0026】

【実施例】VLSI (very large scale integration) が製造されているときのVLSIウェハの形状の変化をシミュレーションする方法が開示されている。本発明に係る好ましい実施例の他の新規な態様が記述され、同時係属の出願で特許請求されている。同時係属の出願としては、"Particle Flux Shadowing For Three-Dimensional Topography Simulati

on", "Surface Sweeping Method for Surface Movement In Three-Dimensional Topography Simulation", "Generalized Solids Modeling For Three-Dimensional Topography Simulation", "A Method for Accurate Calculation of Vertex Movement for Three-Dimensional Topography Simulation", "A Method for Efficient Calculation of Vertex Movement for Three-Dimensional Topography Simulation", "Boolean Trajectory Solid Surface Movement Method" がある。これらの出願はまだ出願番号が付されていないが、本発明の出願人に譲渡されている。好ましい実施例では、半導体装置の製造で用いられるような、等方性および異方性デポジションおよびエッチングプロセスステップを取り扱っている。他の製品、例えば、マイクロマシンの製造するコンテキストで本発明を用いることは、当業者にとって当然である。任意の製品製造プロセスを、VLSIタイプの製造技法を用いて、本発明に係る好ましい実施例によりシミュレーションすることができる。

【0027】次に、本発明を充分に理解できるようにするため、ブール演算の効果等のような特定の説明を多数詳細に行う。しかし、このように詳細なものは当業者にとって公知であり、かつ、本発明をこのように特に詳細な説明を用いることなく実施することができることは当業者にとって当然である。他の例では、周知の機能、例えば、一般的なソリッド生成は本発明を不必要に不明瞭にしないために説明しなかった。

【0028】好適な実施例におけるコンピュータシステムの概要

好適な実施例の方法は、3次元(3次元)グラフィックをサポートするものならば、いかなる市販のコンピュータシステムの上でも実施できるであろう。好ましくは、本発明は、カリフォルニア州マウンテンビューのSilicon Graphics Corporationから市販されているIRISワークステーション、あるいはニューヨーク州アーモンクのIBM Corporationから市販されているRS/6000ワークステーションのようなマイクロコンピュータ上で実施される。もちろん、本発明は、マルチユーザシステム上でも実施することもできる。ただしこの場合は、それらのマシンの価格、速度および機能上の利点と欠点とをすべて受けることになる。

【0029】図2を参照して説明すると、好適な実施例によって使用されるコンピュータシステムは、一般に、情報を伝送するバスなどの伝送手段201と、情報を処理するためにバス201と結合されたプロセッサ202と、このプロセッサ202のための情報と命令とを記憶するためにバス201に結合されたランダムアクセスメモリ(RAM)または他の記憶装置203(一般に主記憶と呼ばれる)と、プロセッサ202のための固定情報と命令とを記憶するためにバス201に結合されたリードオンリメモリ(ROM)または他のスタティックな記

憶装置204と、情報および命令を記憶するためにバス201と結合された、磁気ディスクおよび磁気ドライブのようなデータ記憶装置207と、プロセッサ202へ情報およびコマンド選択を転送するためにバス201に結合された、英数字や他のキーを含むキーボードなどの、英数字入力装置205と、プロセッサ202へ情報およびコマンド選択を転送したり、カーソルの移動を制御するためにバス201に結合された、マウス、トラックボール、カーソル制御キーなどの、カーソル制御装置206と、表示装置208とを備えている。この表示装置は、プロセスシミュレーションステップの結果である3次元グラフィックイメージを表示できるものがよい。さらに、情報の永久的なコピーを与えるプリンタのようなハードコピー装置209を、このシステムが備えていればさらに好都合である。

【0030】プロセッサ202は、次のような機能を提供する。すなわち、移動ベクトルおよび頂点移動の計算、平面の前進(advancement)、ブール集合演算の実行、サーフェススイーピング、三角形化(triangulation)およびグリッド調整、およびパーティクルフラックスシャドウイング計算である。データ記憶装置207は、対象物の表現をソリッドモデルとして記憶する手段を提供する。このような機能およびソリッドモデル表現は、さらに詳しく後述されている。

【0031】好適な実施例のトポグラフィモデリングの概要

本発明の好適な実施例は、公知のソリッドモデリング機能を拡張して、半導体装置の製造をシミュレートするものである(すなわち、プロセスシミュレーション)。ソリッドモデリングとは、伝統的に、CAD(計算機支援設計)ツールを意味し、ビルディングのような、本質的にほぼ静的な物理構造の、設計や組み立てを容易にするものである。ここでは、ソリッドモデリング技法が拡張されて、何らかの外的刺激(たとえば、プロセスステップ)に応答して半導体ウェハ内の物質層に生じる、動的変形に適用される。

【0032】一般のソリッドモデラは、普通、構造エレメントの集合としてソリッドを定義する。また、一般のソリッドモデラは、1以上の既存ソリッドを組み合わせてことによって、新しいソリッドまたは再定義されたソリッドを作製する。ソリッドは、また、それを定義する頂点の移動によっても再定義されるであろう。好適な実施例では、ヘルシンキ工科大学から入手可能なGeometric WorkBench (GWB) が、一般のソリッドモデリングツールとして使用されている。しかしながら、他のソリッドモデリングシステムを使用しても、本発明の精神と範囲から逸脱するものではない。境界表現モデルの特徴(features)を利用するオブジェクトを特徴づけるソリッドモデラシステムならば、どのようなものでも、使用することができる。

【0033】公知のソリッドモデラシステムを使用して、半導体ウェハの製造をシミュレートすることは容易ではない。なぜならば、これらのシステムは、半導体ウェハを含む複数の物質を十分にシミュレートし、記述することができないからである。好適な実施例は、好ましいソリッドモデラシステムに備えられた標準データ構造を補充することによってこの問題を扱っている。これについては、以下にさらに詳述する。さらに、好適な実施例は、半導体ウェハの形状の変化をシミュレートするために使用されるデータの生成を行う。

【0034】VLSI構造の表現が、ソリッドの集合として、図3(a)に示されている。VLSI構造を形成する各物質は、前述した境界表現モデルを用いて、ソリッドとして表現されている。図3(a)において、第1のオブジェクトソリッド301は、たとえばシリコン層からなる基底層を表し、第2のオブジェクトソリッド302は、たとえば2酸化シリコン層からなる第2層を示す。最上層のサーフェス物質(オブジェクトソリッド302)の上のエアスペースもまた、ソリッドとして定義される。すなわち、エアソリッド303である。ウェハの形状の変形は、エアソリッドを変化させ、変化したエアソリッドと物質ソリッドとの間にブール演算を実行することによって、作り出される。

【0035】製造過程において物質に生じた変形を表現するには、エアソリッドに属する頂点について、移動ベクトルを計算する。空間的に変化する処理工程が実行されるのに連れて、エアソリッドの頂点の移動ベクトルが変化するであろう。したがって、エアソリッドは、移動ベクトルによって変形されることになる。頂点についての移動ベクトルの計算法については、後でさらに詳述する。この処理の後、物質オブジェクトソリッドは、前述したブール集合演算を用いて再定義される。

【0036】図3(b)は、好適な実施例のシステム構造の概要である。フロントエンドユーザインターフェース321は、ユーザがオペレーティングソフトウェアと通信する手段を提供するもので、このソフトウェアに本発明が具体化されている。フロントエンドユーザインターフェース321は、オペレーティングシステムやアプリケーションソフトウェアの役割(features)をユーザに提供するためのものである。

【0037】ソリッドモデラシステム322は、トポグラフィシミュレーション中に使用される基本機能を備えている。このような機能には、ユーティリティ、データ構造、およびブール集合演算が含まれている。GWBユーティリティおよびブール集合演算は、境界表現モデルを前提としていることに注意されたい。このため、境界表現モデルデータ構造を補充することはできても、その構成(organization)は、変えることができない。境界表現モデルデータ構造およびブール集合演算については、後でさらに詳述する。

【0038】サーフェス移動モジュール323、三角形化およびグリッド調整モジュール324、フラックスシャドーイングモデル325、およびグラフィックモジュール326は、ユーザインターフェース321とソリッドモデラシステム322との間に置かれている。サーフェス移動モジュール323は、移動ベクトルを計算するためにユーザから与えられる入力を取り込む。移動ベクトルは、各プロセッシングステップをシミュレートするオブジェクトソリッドを変形するのに使用される。ソリッドサーフェス移動は、あとでさらに詳述する。三角形化およびグリッド調整モジュール324は、オブジェクトソリッドのフェースの一つを構成する多角形の形を変えらるためのものである。後で詳述されるように、好適な実施例におけるオブジェクトソリッドの各フェースは、三角形で構成されている。フラックスシャドーイングモジュール325は、移動ベクトルを計算するのに使用される特定の機能を備えている。グラフィックモジュール326は、プロセスステップのシミュレーションで得られた最終構造を表示するための基本グラフィックルーチンを備えている。

【0039】図4は、好適な実施例のトポグラフィシミュレータの動作フローを示している。好適な実施例においては、これは繰り返し処理であることに注意されたい。したがって、プロセスのシミュレーションが実行されると、それは、所定の時間間隔で繰り返し実行される(occurring in a time stepped fashion)。まず、ステップ401で、ウェハのモデル(すなわちソリッド構造)が与えられる。モデルは、2通りの方法のいずれかによって与えられる。すでに構造が作製されている場合には、コンピュータメモリ中に、既存の構造をロードされる。既存の構造が2次元ならば、それはまず、3次元構造への変換を受ける。このような2次元から3次元への変換は、技術上公知である。ソリッドモデル構造がまだ作製されていない場合は、3次元ソリッドモデルを作製する。最初のソリッドモデル構造は、ソリッドモデラシステムによって備えられたユーティリティによって作製される。

【0040】構造の各フェースは、三角形から構成されなければならないので、三角形化ステップ402が実行される。また、要求される精度(accuracy and precision)を実現するために、三角形は特定の大きさでなければならないため、ステップ403でグリッド調整が実行される。

【0041】そして、プロセスの種類が同定され、それによって実行すべきブル集合演算の種類が決定される。プロセスステップがデポジションプロセスステップか否かの決定は、ステップ404で行われる。プロセスステップがデポジションプロセスステップでない場合はエッチングプロセスであり、この場合は、ステップ405において、原エアソリッドが変形され新エアソリッドが作製

される。ついで、ステップ406aにおいて、新たに作製されたエアソリッドと、物質ソリッドとの間で、ブル集合差演算が実行される。また、ステップ406bにおいて、現在実行されているプロセスステップが、デポジションとエッチングの同時進行ステップか否かが決定される。デポジションとエッチングの同時進行プロセスステップならば、このプロセスステップのデポジション部がステップ408で実行される。それがデポジションとエッチングの同時進行プロセスステップでなければ、ステップ412で、ウェハの新ソリッド構造が表示される。ついで、ステップ413で、最終タイムステップが実行されたか否かが決定される。それが最終タイムステップならば、このプロセスステップのシミュレーションは終了する。

【0042】このプロセスステップがデポジションの場合、ステップ407で、原エアソリッドが変形されて、新エアソリッドが作製される。デポジションとエッチングでは、エアソリッド変形が異なり、しかもこの変形は、実行中のプロセスステップに特有のものであることに注意されたい。いずれにしても、新エアソリッドがひとたび作製されると、ステップ408において、原エアソリッドと新エアソリッドとの間にブル集合差演算が実行され、追加の物質ソリッドが作り出される。ついで、ステップ409で、この追加の物質ソリッドが新物質のデポジションであるか否かが決定される。それが新物質のデポジションでない場合、いいかえれば、既存の最上層の物質がさらに堆積されている場合、ステップ410において、原エアソリッドと原物質ソリッドとの間でブル集合和演算が実行される。これがひとたび完了すると、新ソリッドのタイムステップがステップ412で表示される。また、ステップ413で、最終タイムステップかがテストされる。

【0043】デポジションが新物質のデポジションの場合、ステップ411において、追加物質ソリッドが新物質ソリッドに変換される。前と同様に、ステップ412で新ソリッドのタイムステップが表示される。また、ステップ413で最終タイムステップか否かのテストが行われる。

#### 【0044】ブル集合演算

ブル集合演算は、2つの既存のソリッド間の関係に基づいて、新ソリッドを作製したり、既存のソリッドを再定義したりするのに使用される。このようなブル集合演算は、1988年にComputer Science Pressから出版された、Mantyla 著“An Introduction to Solid Modeling”に記載されている。図5(a)～(c)は、好適な実施例における1対のソリッドに対するブル集合演算の作用を例示する。図5(a)～(c)は、2次元で示してあるが、同様のブル集合演算が、任意形状の3次元ソリッドに対しても作用するという事は、当業者には明らかであろう。このようなブル集合演算は、技術



上知られているので、その機能がどのように行われるかは説明する必要はないであろう。むしろ、関心があるのは、それらの効果であろう。しかしながら、この好適な実施例では、次のことに注意されたい。すなわち、原オブジェクトソリッドの定義は、ブール演算の実行後、保存されるか、破棄されるかのいずれかである。好適な実施例では、ある場合は、原オブジェクトは破棄され、物質ソリッドの一つが「変形」される。すなわち、新たに作製されたソリッドとして再定義される。他の場合には、全く新しいソリッド物質が作製される。

【0045】図5(a)は、和演算を例示している。ソリッド501・Aと、ソリッド502・Bとが和演算で結合され、503・Cで示されるようなソリッドが再定義され作製される。和演算においては、結果ソリッドは、ソリッド501・A、および502・Bによって定義される全エリアから成り立つ。再定義されたソリッド503・Cは、同一の空間を占める単一のソリッドである。

【0046】図5(b)は、積演算を例示している。ソリッド501・Aとソリッド502・Bとの積がとられると、その結果は、再定義されたソリッド504・Dである。積演算は、ソリッド501・Aと502・Bに共通な点だけからなる、再定義されたソリッドを作り出す。

【0047】図5(c)は、ブール差演算を例示している。ソリッド501・Aからソリッド502・Bのブール差をとると、再定義されたソリッド505・Eは、ソリッド501・Aのエリアで、ソリッド502・Bと共通でない部分である。

【0048】図4のところでいったように、好適な実施例のシミュレーションステップは、エアソリッドの組立と、それに引き続いて行われる、ブール集合演算を用いた、エアソリッドと1以上の物質オブジェクトソリッドとの組合せとからなっている。

【0049】ソリッドの内部表現とデータ構造  
好適な実施例の物質とエアソリッドは、多面体として表現される。ソリッドを多面体として表現することは、3次元グラフィックスの技術で既に知られている。多面体表現が使用されるのは、隠面消去やシャドーイングのような機能に対する十分な情報を備えているからである。多面体表現は、普通、2次元多角形の集合から作られる。そこでは、1以上の多角形が多面体のフェースを構成している。

【0050】好適な実施例のシステム内では、多面体は、境界表現モデルを用いて表現される。好適な実施例で使用される境界表現モデルは、ハーフエッジモデルと呼ばれ、1988年にComputer Science Pressから出版されたMantyla 著 "An Introduction to Solid Modeling" に説明されている(Cプログラム言語による基本データ構造の定義は、163-170 ページに書かれている)。

いずれにせよ、図6は、好適な実施例における、ソリッドの、基本データ構造と、基本データ構造の拡張とを例示している。オブジェクトは、構造要素の階層として定義されている。好適な実施例で定義される基本構造要素は、ソリッド構造601、フェース構造602、エッジ構造603、頂点構造604、ループ構造605およびハーフエッジ構造606を含んでいる。ソリッド構造601は、主として、他の構造要素への入口である。これは、ソリッド識別子と複数のポインタとを含んでいる。これらのポインタは、ソリッドを定義する基本的な構造要素のリストを指している。ポインタは、データを参照するために使用される、周知のデータタイプであることに注意されたい。よって、ポインタに関するこれ以上の説明は不必要であろう。

【0051】各ソリッドに対しては、複数のフェース構造要素が定義されるであろう。フェース構造602は、ダブルリンク(doubly linked list)されたリストとして構成されている。フェース構造602は、ソリッド構造へのポインタ、外側ループ、前フェースおよび次フェース、およびループリストへのポインタを含んでいる。外側ループは、フェース構造の外側境界を定義する。Mantyla の文献で定義されているように、フェース構造は、ポインタ617を含むように補充される。ポインタ617は、隣接ソリッドの隣接フェース構造609を指すものである。隣接フェース構造609は、フェース構造602を指し返すポインタをもっていることに注意されたい。この種の対応フェースは、たとえば、ある物質が他の物質の上にデポジットされるときに生じる。

【0052】エッジ構造603は、ハーフエッジ構造606および隣接エッジ構造610へのポインタを含んでいる。1エッジは、2つのハーフエッジからなっていることに注意されたい。頂点AとBとの間のエッジを仮定すると、第1のハーフエッジは、AからBへ走るエッジとして定義される。第2のハーフエッジは、BからAへ走るエッジとして定義される。ハーフエッジの種類を区別する必要性は、ループを説明することによって、もっと明確になるであろう。隣接エッジ構造リスト610は、隣接ソリッドにおける隣接エッジのリストであり、その使用法は、隣接フェース構造609に類似している。

【0053】頂点構造604は、ある座標系における頂点ポイントの座標、およびそれに対応するハーフエッジ(頂点がその端点である)を指すポインタ、次頂点および前頂点を含んでいる。エッジ構造603と同様に、頂点構造604もまた、隣接頂点構造リスト607を指すポインタ616を含むように補充される。隣接頂点構造リスト607は、頂点ポイントおよびそれに対応するソリッド識別子の、リストである。

【0054】ループ構造605は、ハーフエッジのリストへのポインタ、前ループ、次ループ、およびループを

含むフェースを備えている。2種類のループが存在する。内側ループと外側ループである。上述したように、外側ループは、フェースの外側境界を定義する。外側ループとは、外側ループを時計方向に定義するハーフエッジのリストである。内側ループはフェース内の孔を定義する。内側ループとは、内側ループを反時計方向に定義するハーフエッジのリストである。ループ構造の内容から明らかなように、ループは、ダブルリンクされたリストとして維持される。これによって、リスト内における横断（トラバース）が容易となる。

【0055】ハーフエッジ構造606は、親エッジへのポインタと、開始エッジと、当該ハーフエッジが含まれるループと、前ハーフエッジと、次ハーフエッジとを含んでいる。ハーフエッジ構造もダブルリンクされたリストとして維持される。

【0056】最後に、物質情報構造608は、ソリッドオブジェクトサーフェス移動を決定するのに使用される情報を含む。ソリッド構造601は、物質情報構造608へのポインタ615を含んでいる。特徴パラメータ情報の必要性和使用については、移動ベクトルの計算に関係させて、さらに詳細に説明する。

【0057】追加された構造608、609とポインタ615、617の種類とは、ソリッドモデリングの演算に何等の影響も及ぼさない。それは、ポインタは、変形計算が実行された後で再生成できるからである。したがって、周知のソリッドモデリング演算を、変更することなく用いることができる。

【0058】多物質／多層ソリッド構造の例

図7(a)、(b)は、多物質／多層ソリッド構造を例示している。図7(a)は、代表的なウェハで生じるような、すべての物質が連結された構造を示している。図7(a)において、シリコンソリッド701は、基底層である。酸化層702は、第2層であり、この層には、金属層704がシリコン層701と接触するための孔が画定されている。最後に、エア層705は、この構造の最上層である。図7(b)によってさらに明らかになるが、物質層は、1以上のソリッドから構成してもよい。ここで、酸化層702は、複数ソリッドから構成される。図7(b)には、半導体ウェハの構造例が示されている。図7(b)は、好適な実施例のデータ構造で与えられた隣接物質間の関係を示している。第1に、エア層705は、金属層704のフェース707に隣接するフェース706を定義する。さらに、エア層705は、金属層704によって定義される頂点709に隣接する頂点708を定義する。これらの各構造は3次元なので、一つの頂点が2以上の隣接頂点をもつこともある点に注意されたい。

【0059】また、エア層705と金属層704との隣接フェースおよび隣接頂点は、それぞれ同一であることにも注意されたい。多物質／多層構造の説明を矛盾なく

容易行うためには、隣接フェースと隣接頂点とが、それぞれ同一であることが必要である。このことは、エアソリッドが同様の要請に服していることに注意すれば、容易に明らかになる。このように、ブール演算が実行される場合、一様の構造が比較される。

【0060】新物質ソリッドが加えられると、前から存在しているソリッドに新フェースが追加されなければならない。これは、多物質境界が同一のフェース構造をもつという要請によるものである。さらに、新物質ソリッドが既存ソリッドと重なる場合は、この新物質ソリッドは、既存のソリッドにしたがわなければならない。すなわち、既存のソリッドが優先される。このことが、図8(a)に示されている。ここで、最初の物質ソリッド710、たとえばホトレジストが、既存の基板711に加えられる。デポジションステップの後では、最初の物質ソリッド710は、712で示されるような形をとるであろう。

【0061】これらの要請を満たすために、ソリッドを加える技法が提供される。この技法は、2つのソリッド間の和演算に引き続いて、ブール集合差演算が行われた場合、境界領域は消去されるソリッドのフェース構造を保持するという事実に基づいている。この技法は次のように記述される。

【0062】すべてのソリッド $S_i$ についてのループ：

1. 新ソリッド' =  $(S_i \cup \text{新ソリッド}) - S_i$
2.  $S_i' = (S_i \cup \text{新ソリッド}) - \text{新ソリッド}$
3. 新ソリッド = 新ソリッド'
4.  $S_i = S_i'$

1および3行は、實際上、既存ソリッドのフェースパターンを新物質ソリッドの上に置くことである。変数「新ソリッド'」は、既存ソリッドのフェースパターンをもつから、2および4行は、そのパターンが既存ソリッド上にあることを確実にする。

【0063】第2の考察事項は、エアソリッドの構造である。最初のエアソリッドは、対象物よりも大きいエアスペースを、明確に占める寸法を有するものとして定義される。エアソリッドは、まず、すべての既存ソリッドについてブール集合和演算を実行することによって、仮ソリッドを形成することによって、変更される。すべてのソリッドが相互に接触しているわけではないので、ブール集合和演算がすべてのソリッドについて成功するまで、ループを継続しなければならない。その後、最初のエアソリッドと仮ソリッドとの間で、ブール集合差演算を実行することによって、エアソリッドが作製される。

【0064】三角形化およびグリッド調整

好適な実施例では、ソリッドのサーフェスは、三角形フェースで構成しなければならない。その理由は、以下のサーフェス移動の説明から明らかになるであろう。好適な実施例のソリッドモデルは、多角形フェースから構成



されるサーフェスをもつソリッドを作製する。そこで、三角形フェース生成（グリッド生成）方法が提供される。

【0065】多角形から三角形フェースを作製する方法は、たとえば Delauney のモザイク (tesselation) などで、技術的に公知である。しかしながら、好適な実施例の方法は、技術上公知なものよりもずっと簡単である。図9は、基本方法のフローチャートである。第1に、ステップ801において、ソリッド内に孔を作っている内側ループがすべて削除される。削除は、外側ループおよび内側ループに属する2頂点の間に、新しいエッジを挿入することによって行われる。このような内側ループを最初に削除しておく、以後の処理が簡単化されることが分かっている。

【0066】次に、ステップ802において、処理対象の多角形サーフェスの頂点と、多角形をループに沿って探索したときの、問題にしている頂点の次の次の頂点との間に、新エッジが挿入される。続いて、ステップ803において、この新エッジが多角形内部にあるか、あるいは多角形サーフェスによって定義される境界と交差するか、決定される。新エッジが多角形の外部にあるか、あるいは多角形サーフェスによって定義される境界と交差する場合は、この新エッジ候補は、ステップ804で放棄され、ステップ802において、他の新エッジ候補が挿入される。新エッジ候補が多角形サーフェスによって定義される境界内にある場合は、ステップ805において、その新エッジが多角形に加えられる。ステップ802～806は、本質的に、多角形フェースを三角形フェースに分割する。次に、ステップ807において、すべてのフェースが三角形化されたか否かが決定される。そうでなければ、ステップ801～806が、次のフェースに対して繰り返される。すべてのフェースが三角形化されたら、ステップ808でグリッド調整が実行される。

【0067】図10(a)～(e)は、三角形化方法の例を示す。図10(a)において、多角形フェースは、外側ループ821と内側ループ822とをもっている。上述したように、ループ構造は、ハーフエッジの環 (ring) を指すポイントを含むダブルリンクされた表である。上述したように、内側ループは、外側ループの頂点ポイントと内側ループの頂点ポイントとの間に新エッジを挿入することによって削除される。このような内側ループの削除が図10(b)に例示されている。ここでは、外側ループ821の頂点ポイント823と、内側ループ822の頂点ポイント824との間に新エッジ825が挿入されている。これによって、内側ループによって定義されたハーフエッジが、外側ループのハーフエッジの環の中に含まれる。

【0068】上述したように、エッジ構造は、2本のハーフエッジからなる。よって、新エッジ825も2本の

ハーフエッジからなる。ハーフエッジを挿入するのは、（その外側ループがハーフエッジの環からなる）新多角形フェースの作製を、容易にするためである。新多角形がつくられると、ハーフエッジの一つは、新多角形に属し、他の1本が既存の多角形に属する。

【0069】図10(c)において、多角形の頂点ポイント間、ここでは頂点ポイント827と828間に、新エッジ826が挿入されている。新エッジが残るためには、この新エッジが、多角形の境界（すなわち外側ループ）と交差しないということを確認しなければならない。外側ループが、内側ループのハーフエッジを含むので、新エッジ826は、多角形の境界と交差する。新エッジ826が多角形の境界と交差するので、新エッジ826は放棄される。

【0070】図10(d)において、頂点ポイント827と824間に、第2の新エッジ829が挿入される。ここでは、新エッジ829は、外側ループのいずれのハーフエッジとも交差しない。さらに、三角形831が定義される。三角形831は、エッジ825、829および830のそれぞれによって定義されるハーフエッジの一方から構成される。三角形831はそれ自身、多角形フェースとなり、三角形化プロセスは、図10(e)に示す多角形832について、さらに続けられる。

【0071】グリッド調整は、三角形のサイズを制限するために行われる。好適な実施例では、3つの条件がグリッド調整演算を引き起こす。これらの3条件は、以下の通りである。(1) 一つのエッジが最大エッジ長を超える。(2) 一つのエッジが最小エッジ長よりも短い。または、(3) 三角形の高さが、あらかじめ定めた最小値よりも低い。図11(a)～(f)は、これらの条件に応じて生じるグリッド調整演算を例示する。グリッド調整中には、いろいろな特殊条件や例外が生じることに注意されたい。このような特殊条件や例外は、ここでは説明しない。本発明を必要以上に分かりにくくするのを避けるためである。

【0072】図11(a), (b)は、エッジが長い場合を示す。基本的に、長いエッジは2つのエッジに分割され、2本の新エッジが挿入される。こうして2つの新三角形が作られる。図11(a)において、エッジ901が長過ぎる。好適な実施例では、エッジ長が標準三角形のサイズの160%を超えたら、それは長過ぎることになる。この標準三角形サイズは、プロセスシミュレーションへの入力で与えられることに注意されたい。長過ぎの判断に、異なるエッジ長許容値を選ぶことは、本発明の精神と範囲とから逸脱するものではない。図11(b)は、修正動作を示す。まず、新頂点ポイント902と、隣接頂点ポイント905および906を接続して、新エッジ903と904とをつくる。頂点ポイント905と906が選ばれたのは、それらが前に、エッジ901によって定義された三角形を定義するのに使

用されたポイントだからである。

【0073】図11(c), (d)は、短エッジの場合を示している。基本的に、短エッジは、隣接三角形を作るのに使用された2つのエッジとともに削除される。好適な実施例では、エッジ長が標準三角形サイズの少なくとも60%に満たないときには、それは短過ぎる。異なるエッジ長スレシヨールドを最小値として選択することは、本発明の精神と範囲とから逸脱しない。図11

(c)は、頂点ポイント911および912と、エッジ913および914とを示している。図11(d)は、修正動作を示す。まず、短エッジ910が消去される。これによって、(図11(c)に示す)頂点ポイントの一つ、すなわちポイント911が削除され、同時に、2本のエッジ、すなわちエッジ913と914が削除される。頂点912は、前に頂点911を含んでいた複数の三角形の1つの頂点となる。

【0074】エッジを削除すると、構造の細部が消去されることに、さらに注意されたい。交替エッジが削除されるたびに、原構造の形状を最も良く保つエッジが保存される。

【0075】図11(e), (f)は、高さの低い三角形の例を示している。図11(e)において、三角形921の高さは、最小値より低い。好適な実施例では、三角形の高さが、標準三角形サイズの少なくとも28%に達しない場合は、高さが低く過ぎるとされる。これと異なる高さのスレシヨールドを最小値として選択することは、本発明の精神と範囲とを逸脱するものではない。図11(e)には、さらに、頂点ポイント922および923と、エッジ920とが示されている。図11(f)は、修正動作を示している。まず、三角形の一つのエッジが削除される。ここでは、エッジ920が削除されている。好適な実施例では、最長のエッジが削除される。次に、新エッジ924が、他の2つの頂点ポイント間、ここでは、頂点ポイント922と923との間にひかれる。頂点ポイントの間に新たな複数の三角形が作られるが、これらの頂点ポイントは、削除されたエッジに関わる三角形と関連する、頂点ポイントを調べることによって決定される。

【0076】これらの規則は、次の順序で繰り返し実行される。(1)長いエッジを分割する、(2)短いエッジを削除する、および(3)高さの低い三角形に対して、エッジを削除したり加えたりする。すべてのスレシヨールド条件が満たされるまで、あるいは、繰り返し回数がある特定の最大値に達するまで、これらは実行される。

【0077】このプロセスを通して、ソリッド構造に対して、頂点、フェースおよびハーフエッジの各追加構造が作製されるであろう。さらに、隣接頂点および隣接フェースの各構造も作られるであろう。このような構造の作製および既存ソリッド構造への統合(integration)

は、技術上公知である。また、物質界面では、フェース構造が同一でなければならないという要請を満たすために、上述した三角形化およびグリッド調整は、隣接物質構造に伝達されるという点にも注意されたい。

#### 【0078】サーフェス移動

サーフェス移動とは、物質オブジェクトソリッドの境界を定義しているサーフェスを、プロセスステップに応答して、移動することである。サーフェス移動は、エアソリッド(air solid)と、1以上の物質ソリッドとの間でブール集合演算を実行してシミュレートされる。サーフェス移動を決定する重要なステップは、エアソリッドの各頂点で移動ベクトルを発生することである。個々の変形の直接の対応物(direct correspondents)は、移動ベクトルの方向と大きさである。

【0079】個々の頂点ポイントの、サーフェスに垂直な方向の、デポジション速度およびエッチング速度を決定するためには、3次元統一方程式が使用される。これと関連して、パーティクルフラックスシャドーイング計算も実行される。これが使用されるのは、移動ベクトル計算には、デポジションあるいはエッチング源の可視部分からの寄与のみが、含まれるようにするためである。次に、3次元平面モデルと呼ばれる複数の方法の中の一つを用いて、頂点ポイントについての実際の移動ベクトルを計算する。最後に、サーフェス移動スイーピング法を用いて、サーフェスの変形を起こす。好適な実施例のサーフェス移動スイーピング法は、無効な自己交差構造が生じるのを防止する。

【0080】ブール集合演算を用いたデポジション  
デポジションは、物質が加えられるプロセスステップである。これは、既存の物質ソリッドに加える形態、あるいは、まったく新しい物質ソリッドを与える形態のいずれかをとりうる。デポジションの場合、新物質ソリッドは、次のように定義される。

#### 【0081】

【数1】新物質ソリッド = 初期エアソリッド - 新エアソリッド

#### 【0082】

【数2】再定義物質ソリッド = 初期物質ソリッド U 新物質ソリッド

図12(a)~(d)は、ブール集合演算を使用したデポジションの例を示す。図12(a)は、ウェハの初期状態を示す。最初に定義されたソリッドオブジェクトは、物質1001とエアソリッド1002のみである。図12(b)には、エアソリッド1002の再定義に基づいて、新エアソリッド1003が定義されている。この新エアソリッド1003は、後で詳述するように、ソリッドサーフェス移動技術を用いて定義される。いずれにせよ、図12(c)に示すように、エアソリッド1002と新エアソリッド1003との間で、ブール差をとることによって、新物質1004が定義される。

【0083】図12(d)は、物質1001と物質1004とが同一物質である場合を示している。このような場合、ブール集合和演算が、物質1001と新物質1004との間で実行され、物質1005が作製される。一方、物質1001と1004とが異なる場合は、物質1004が別個の物質ソリッドとして残る。

【0084】ブール集合演算を用いたエッチングエッチングは、物質ソリッドの部分が除去されるプロセスステップである。エッチングの場合、再定義物質は、次のように計算される。

【0085】

【数3】再定義物質ソリッド = 原物質ソリッド - 新エアソリッド

図13(a)～(d)は、中間物質に孔を作製する場合のエッチング例を示す。図13(a)は、ウェハの初期状態を示す。物質1のソリッド1051は基底層であり、物質2のソリッド1052は最上層である。また、エアソリッド1053は、最上層1052の上の空気を表す。図13(b)において、新エアソリッド1054が、後で説明するサーフェス移動法を用いて作製される。この新エアソリッド1054は、物質2のソリッド1052を突き抜けて、物質1のソリッド1051の中にまで延びていることに注意されたい。

【0086】まず、新物質1が定義されなければならない。図13(c)に示すように、原物質1・1051と新エアソリッド1054とのブール差演算がとられる。その結果、新物質1・1055が生じる。次に、物質2・1052への効果を示されなければならない。図13(d)に示すように、物質2・1052とエアソリッド1054とのブール差をとることによって、新物質2・1056が作製される。その結果、孔を定義する新物質2・1056が生じる。

【0087】ブール集合演算を用いたデポジションとエ

$$V = A + B \cos \theta_s$$

$$+ C \sin^2 \theta_s \cos \theta_s$$

$$+ D \int_{\text{visible}} \cos^n \theta \cos (\theta - \theta_s) d\Omega$$

$$+ E \int_{\text{invisible}} \cos (\theta - \theta_s) d\Omega$$

【0092】ここで、Vは表面移動の速度、Aは等方性反応パラメータ、Bは垂直反応パラメータ、Cはスパッタリング収率(yield)の角度依存反応パラメータ、Dは角度分布をもつ入射粒子の反応パラメータ、nは入射粒子の角度分布を与えるパラメータ、Eは反射および再デポジション反応パラメータである。さらに、 $\int_{\text{visible}}$ は、「空」が見える立体角 $d\Omega$ にわたる積分を意味し、 $\int_{\text{invisible}}$ は、「空」が見えない立体角 $d\Omega$ にわたる積分を意味する。2つの積分を区別する必要性

ツチングの同時進行

デポジションとエッチングが同時に行われる場合は、上述した2つの方法が連続して用いられる。演算はどのような順番でもよい。

【0088】好適な実施例では、各計算は、タイムステップの形で実行される。したがって、個々のプロセス演算は、プロセス演算を実行する低速度撮影の1連の画面(シーケンス)として現れるであろう。

【0089】3次元統一方程式

3次元統一方程式は、局所的なデポジション、エッチング、あるいはデポジションおよびエッチングの同時進行の速度、すなわち、サーフェス平面上の法線方向(トラジェクトリ)のサーフェス移動速度を計算する。3次元統一方程式は、2次元統一方程式から拡張される。基本概念とパラメータは、双方に共通である。したがって、2次元シミュレーションを用いた、2次元テスト構造(線およびスペース)の実験結果から抽出されたパラメータを使用して、複雑な3次元プロフィールをシミュレートすることができる。それによって、実験サンプルの3次元測定をしなくても、3次元結果を予測することができるであろう。このことは、3次元実験分析が2次元実験分析よりもはるかにむずかしいことから、好ましいことである。2次元測定と2次元でのパラメータ合わせ(parameter fitting)は、比較的容易であり、技術上で公知である。

【0090】統一方程式は、デポジション反応およびエッチング反応を、等方性成分と複数の異方性成分の線形的な組合せとして扱う。この3次元統一方程式は、基本的に6パラメータをもっている(これは2次元統一方程式の場合と同様である)。3次元統一方程式は次の通りである。

【0091】

【数4】

は、以下のパーティクルフラックスシャドーイングに関して、より明らかになるであろう。

【0093】3次元統一方程式の各角度変数の定義は、図14に例示されている。図14において、計算点1101は水平面1102上に存在する。方向を明確にするために、水平軸1103、垂直軸1104およびサーフェス法線1105が書き込まれている。角 $\theta_s$  1108は、サーフェス法線1105と垂直軸1104との間の角度として定義される。角 $\psi_s$  1109は、水平軸と、

サーフェス法線の水平面1102への投影である延長線1111との間の半時計方向の角度として定義される。さらに、粒子の入射方向を定義する粒子線1106が示されている。角 $\theta$ 1107は、垂直軸1104と粒子線1106との間の角度として定義される。角 $\psi$ 1110は、水平線と、粒子線1106の水平面1102への投影との間の角度として定義される。

【0094】移動ベクトルを計算するのに、他の方程式を使用することは、本発明の精神と範囲とを逸脱するものではない。異なる方程式の利用は、プロセスステップがどのように実行されるかという特異な特徴に依存するため、予期されるもの(anticipated)である。

#### 【0095】頂点移動の計算

本発明の好適な実施例は、頂点移動を計算するのに3通りの方法をとっている。第1の方法は、効率的な方法と呼ばれ、迅速かつ近い近似結果を与えることを主眼としている。第2の方法は、高精度方法と呼ばれ、正確な結果を与えることを主眼としている。これら2方法は、互いに相反するものではなく、両方法を相補う形でいっしょに使用することも予期されることである。第3の方法は、エッチングプロセスステップが実行され、かつ移動中の頂点が、異なるエッチング速度の2ソリッドの界面にある場合を考慮している。

【0096】この説明で、頂点ポイント(vertex point)とは、2以上のフェース(すなわち平面)に共通な点をさしている。エッジで交差する2フェースの関係は、凸または凹のいずれかとして特徴づけられることにも、注目することが重要である。一般に、2フェース間の角度が180度より大きいときには、その関係は凸であり、2フェース間の角度が180度より小さいときには、その関係は凹である。

【0097】ここでは、また、頂点ポイントにおける各種の特徴的な形状は、種々のプロセスステップの結果として生じることに注目することも重要である。このような形状が、個々のプロセスステップの結果として生じることは、VLSI製造の当業者には公知の事柄である。いずれにせよ、当業者達は、好適な実施例の頂点移動方法の必要性を立証している。これらの特徴的な形状は、図1(a)～(c)に例示されている。

【0098】最後に、サーフェス法線角に依存するエッチング速度に対する頂点ポイント移動計算は、頂点が単独であるという事実、すなわち、この点では、サーフェス法線が定義できないという事実によって、難しくなるということに注意されたい。好適な実施例の方法は、この問題を扱うのに特に適している。以下に説明する計算は、ソリッドの各頂点ポイントに対し、かつ個々のタイムステップに対して行われるということにも注意されたい。実際のシミュレーションでは、これらの計算は、個々の頂点に対して多数回発生することもある。

#### 【0099】計算の効率的な方法

3次元構造に関していえば、頂点は、1, 2, 3、あるいはそれ以上の平面によって囲まれていることに注目されたい。しかしながら、移動計算を実行するにあたって、効率的な方法では、3以下の平面が選択/作製される。選択された3以下の平面は、個々の頂点の実際の構造を近似する。平面の選択/作製は、必要ならば、その頂点における異なる平面同士のなす角度を分析して行う。第1の方法は、エッジ削減法と呼ばれるもので、ほぼ同一平面である複数の平面をまとめるものである。まとめるプロセスは、3平面しか残らない状態まで繰り返される。

【0100】第2の方法は、平面削減法と呼ばれ、移動後の構造に最小の影響しか与えない平面を同定し、それらの平面を以後の計算から除くものである。平面削減法は、一般に、次のステップをとる。

【0101】1. 各平面を前進させて、各エッジと各平面との交差点を見つける。

【0102】2. 平面のエッジの交差点の数が最小となるような、平面を見つける。

【0103】3. 平面のエッジの交差点の数が最小となるような平面を省いて、頂点形状を再構築する。

【0104】これらのステップは、3平面しか残らない状態まで繰り返される。

【0105】図15(a), (b)および図16は、平面削減法を例示している。図15(a)は、頂点ポイント1201と隣接平面1202～1205とを示している。2平面の交差がエッジを定義することを思い出していただきたい。よって、エッジ1206は平面1204と1205との交差であり、エッジ1207は平面1202と1203との交差であり、エッジ1208は平面1203と1204との交差であり、エッジ1209は平面1202と1205との交差である。上述したように、第1のステップは、各平面を前進させて、各エッジと各平面との交差点を見つけることである。これが図15(b)に示されている。図15(b)において、平面1202は、移動されて平面1216を作りだし、頂点ポイントは1211へ移る。同様に、平面1203, 1204および1205は、移動されて平面1217, 1218および1215を作り出す。このとき、対応する頂点ポイントは1213, 1214および1210へ移る。

【0106】まず、各平面が前進され、他の前進された平面とのエッジ交差点(edge intersection points)が同定される。交差点が少ない平面ほど、最終ソリッド構造の形状変化への影響が少ないということが分かっている。この同定は図15(b)に例示されている。ここで、平面1215～1218は、それぞれ、作製されたソリッドから拡張されたものとして示されている。この例において、平面1215は、そのエッジ上に2つの交差点(1211および1214)をもっている。また、

平面1216および1217は、それぞれ1つの交差点（それぞれ1213と1214）をもっており、平面1218は交差点をもっていない。こうして、平面1218は削除され、平面1215、1216および1217が、この構造の代表平面として選択される。

【0107】図16において、平面1204が削除されて、頂点形状が再構築される。これによって、新エッジ1219が作られる。このエッジ1219は、平面1203と1205との交差である。

【0108】図17(a)、(b)および図18は、3より少ない平面が選択された、面削減法の一例を示す。図17(a)において、頂点ポイント1230は、隣接平面1231～1234をもっている。平面1231は、平面1232～1234の背後にあることに注意されたい。上と同様に、各平面が前進される。この前進の結果が図17(b)に示されている。図17(b)は、前進された平面と、その結果生じた交差点とを示している。前進された平面1235は、図17(a)の平面1231に対応しており、移動された頂点1240と、交差点1241と1242とをもっている。前進された平面1236は、図17(a)の平面1232に対応し、移動された頂点1241をもつが、交差点はもたない。平面1238は、図17(a)の平面1234に対応し、移動された頂点1242をもつが、交差点はもたない。平面1237は、図17(a)の平面1233に対応し、移動された頂点ポイント1239と交差点1241および1242をもつ。平面1236および1238は、交差点をもたないから、前進された最終構造に与える影響は小さい。

【0109】図18において、平面1232および1234を省略して、頂点形状が再構築されている。ここで、結果として得られた、隣接頂点を含む平面は、1231と1233である。平面1231と1233との間には、エッジ、すなわち交差がないことに注意されたい。このような結果は予期されるもので、計算の結果を乱すものではない。

【0110】ひとたび、3平面が構築／生成されたら、頂点移動は、頂点ポイントおよび隣接エッジの特徴を同定し、その結果によって行われる。頂点ポイントは、安定か不安定か、サドル点か非サドル点か、が同定される。エッジは凹か凸かが決められる。頂点ポイントが安定とされるのは、その頂点に隣接する前進フェースの交差点が、前進頂点と同じ場合である。いいかえれば、前進頂点が、初期頂点と1対1対応をしている場合である。これは、鋭角隅(sharp corner)を生じる。不安定な頂点は、前進頂点と1対1対応をもたない。初期頂点

は、不安定頂点に関して多くの頂点を作るので、その結果、丸い隅が生じる。頂点ポイントがサドル点と同定されるのは、この頂点ポイントに隣接するエッジが、全部凹となるか、あるいは全部凸となる関係をもたないときである。逆に、頂点ポイントが非サドル点となるのは、この頂点ポイントに隣接するエッジが、すべて凹となるか、すべて凸となるかの関係を有するときである。

【0111】好適な実施例の方法が図19のフローチャートに示されている。この方法の実行中に、実際には作られないいくつかの点や、それに対応する粒子線について説明することもあるが、これらは、この方法を説明する上で有益であることに注意されたい。考察する頂点ポイントは、点Aであると仮定する。まず、ステップ1301において、単位ベクトルが計算される。単位ベクトルは、3平面のそれぞれの法線ベクトルの平均として定義される。説明の便宜上、単位ベクトルの反対方向に（単位ベクトルから180度の方向に）、点Rが投影されているものとする。そして、頂点ポイントAから点Rに線ARがつくられる。線ARを作る理由は、観測点から発する平行線をつくる手段を用意するためである。

【0112】ついで、ステップ1302で、観測点Qが決定される。ほとんどの場合、上述した3次元統一方程式で決められた量だけ、各平面が前進（あるいは移動）されて、観測点が決定される。観測点Qは、3平面の交差点として定義される。3平面は1点で交差するだけであることに注意されたい。頂点ポイントが不安定(unstable: プロセスの進行によって角がとれて丸くなること)で、かつサドル点である場合は、観測点Qは、移動ベクトルの先端として定義される。この移動ベクトルの方向は、不安定な共通でないエッジ（すなわち、単独の凹または凸エッジ）を形成する2つの平面について、第3の平面に沿う2つの同種のエッジのエッジベクトル（すなわち、2つの凹エッジまたは2つの凸エッジ）の平均方向として定義される。これは、好適な実施例では、この移動ベクトルの大きさは、1989年5月に Symposium of VLSI Technology の24頁に発表された、S. Tazawa, et al., "the 2-D DEER calculation for the two planes forming the first unstable edge" という記事に記載された2次元計算から引かれている。第1パス観察方向が、ステップ1303で、決定される。第1パス観察方向は、それぞれのフェース対の関係、すなわち、凸か凹かに依存する。表Aは、さまざまな関係と、それに対応する、第1パスおよび第2パスでの観察方向とを示す。

【0113】

【表1】

	表 A			
	凹-凹-凹	凸-凸-凸	凹-凸-凸	凸-凹-凹
第1パス	+	-	-	+
第2パス	+	-	+	-

ここで、凹： 凹エッジを意味する

凸： 凸エッジを意味する

＋： 単位ベクトルと同一方向

－： 単位ベクトルと反対方向

ステップ1304において、観測点を始点とし、第1観測方向を方向とする観測ベクトルを定義する。再び、この方法の説明の便宜上、点Pが投影され、線ARに平行な線QPをつくるものと仮定する。頂点ポイントが安定な状況では、点Aの移動先は、線ARに沿った箇所であろう。「線QP」という用語は、観測ベクトルと同意語であり、同一物を指すことに注意されたい。この方法の残りの部分は、頂点ポイントAが、線QPに沿ったどの箇処に移動するかを、正確に決定することに焦点が移る。

【0114】ステップ1305では、作られた3平面のうちの2平面の間に、第1仮想平面が作られる。頂点が不安定な場合、第1不安定エッジを形成する2平面が選択される。第1仮想平面は、選択された2平面の間に作られ、かつ処理される多くの平面のうちの一つである。次に、ステップ1306において、第1仮想平面が前進される。

【0115】ステップ1307において、一連の第2仮想平面が作られ、前進される。この一連の第2仮想平面は、作られた第1仮想平面と、先に選択されなかった第3平面との間に位置するものである。この一連の第2仮想平面は、ステップ1308で前進される。ステップ1309において、一連の第2仮想平面と第1仮想平面とから、線QPの方向の最遠点で線QPと交差する平面が同定される。ステップ1310において、この平面が、第1パスで同定された一連の平面の中に、ストアされる。

【0116】ステップ1311において、最後の第1仮想平面が作られたか否かが判定される。作られる第1仮想平面の数は、ユーザが決めることができる。第1仮想平面の数が大きいほど、シミュレーションの精度が上がる。最後の第1仮想平面が作られ、かつ一連の第1パス平面が作られると、第1パスが完成する。この方法では、一連の包括的な (comprehensive) 平面の分析は、第1パス観察ベクトルに関して行われることに注意されたい。続いて、第2パスが開始される。

【0117】第2パスは、ステップ1312において、第2パス観察方向を決定することから始められる。第2パス観察方向は、表Aから決定することができる。頂点ポイントがサドル点の場合のみ、第2パス観察方向が逆転される。いずれにせよ、ステップ1313において、第2パス観察ベクトルと、それに対応する粒子線とが作られる。最後に、ステップ1314において、第1パスの一連の平面からの平面と、第2パス観察ベクトルとの交差点が決定される。第2観測ベクトルに沿った最遠交差点が、頂点ポイントAに対応する移動ポイントとして

定義される。

【0118】好適な実施例の方法は、3平面の中間に位置するすべての平面が、第1観測ベクトルに関して分析されるという、一手法を説明していることに注意されたい。このような中間平面を同定し、かつプリセットする他の方法も、本発明の精神と範囲に含まれるであろう。サドル頂点ポイントが移動される場合にも、2パスを必要とするだけであることに注意されたい。上述した2パス方法は、あらゆる場合に働く一般的な方法である。2つの場合 (頂点ポイントがサドル点の場合と非サドル点の場合) を別々に扱う方法も、当業者には明らかであろう。

【0119】頂点ポイントが安定で、かつサドル点でない場合の例が図20 (a), (b) および図21

(a), (b) に示されている。図20 (a) において、3平面1352～1354の頂点ポイント1351が示されている。

【0120】3平面1352～1354間の関係は、すべて凸である。デポジションプロセスステップを仮定すると、各3平面1352～1354は、それぞれ、サーフェス法線1357～1359をもっている。上述したように、頂点ポイント1351での単位ベクトルが計算される。単位ベクトルは、3平面の法線ベクトルの平均である。単位ベクトル1355が示されている。単位ベクトル1355の反対方向の点R1360が定義され、線AR1356をつくる。

【0121】図20 (b) において、観測点Qが決定される。第1に、平面1352～1354に対応する平面1372～1374が作られる。平面1372～1374は、平面1352～1354を前進させたものであり、サーフェス移動中に生じるであろう。これはデポジションプロセスであるので、前進は単位ベクトルの方向である。これがエッチングプロセスの場合は、前進は反対方向になる。観測点Q1375は、前進された3平面1372～1374の交差点として作られ定義される。今度は、観測方向が決定される。表Aにおいて、3つの凸フェースをもつ頂点ポイントに対しては、観測方向は単位ベクトルの反対方向である。ここでは、単位ベクトル1355の反対方向の観測ベクトル1376が作られる。さらに、この第1観測ベクトル1376に沿って点Pが定義され、線QPが作られる。観測点Q・1375と点P・1377によって定義される線分、すなわちQPは、線分AR・1356と平行でなければならないことに注意されたい。

【0122】図21 (a) において、複数の仮想平面1380が前進させられている。前進仮想平面1380は、第1パスで作られた仮想平面に対応する。ここでは、第1仮想平面は平面1352と1353との間に作られる。一連の第2仮想平面は、第1仮想平面と、平面1354との間に作られる。仮想平面1380は、一連



の第2仮想平面の作製を代表するものである。前進仮想平面1380が観測ベクトル1376と交差する点が、図21(b)にバー1390として示されている。上述したように、観測ベクトル方向の交差点に沿った最遠交差点が、第1パスの一連の平面中に記憶される平面を同定するのに使用される。ここでは、最遠交差点は1391である。ここで、最遠交差点とは、観測ベクトル1376の始点である観測点Qから各交差点に向うベクトルと、観測ベクトル1376との内積が最大となる交差点であることに注意されたい。

【0123】すべての第1仮想平面が作製され、かつ一連の第1パス平面が作られたと仮定して、次に、第1パスで同定された一連の仮想平面が比較される。第2パス観測ベクトルは、第1パスにおけるものと同一の方向をもつので、図21(b)と同様の図が作られる。ここで、粒子線に沿った最遠交差点が、頂点ポイントの移動先の点を定義するであろう。

#### 【0124】高精度計算方法

高精度計算方法は、効率的な方法よりも、より正確な結果を与える。高精度方法は、たとえば、スパッタエッチングステップのように、エッチング/デポジション速度が、サーフェス法線と垂直方向との間の角度に依存するような場合の頂点移動を計算するのに特に適している。しかしながら、高精度方法は、実行する計算が増加する。高精度方法と効率的な方法のどちらを使用するかは、一種のトレードオフ、すなわち、シミュレーション精度対速度のトレードオフである。

【0125】高精度計算方法は、サーフェスが前進した場合、ある種の無効頂点トラジェクトリが生じるという観察に基づいている。このことを理解するために、まず、頂点ポイントは単独であること、すなわち、頂点ポイントではサーフェス法線は定義できないことを思い出されたい。つまり、頂点ポイントにおいては、複数の異なった、(隣接フェースのサーフェス法線から延びている)トラジェクトリが可能である。たとえば、凹隅の頂点から出発しているエッチングトラジェクトリは、この頂点に隣接するサーフェスから出発しているエッチングトラジェクトリによって、追い越されるかも知れない。このように追い越されたエッチングトラジェクトリは無効である。このことが、図22(a)に示されている。ここで、エッチングプロセスステップによって、サーフ

ェス1401は、サーフェス1403に前進され、サーフェス1402は、サーフェス1404に前進される。サーフェス1401と1402は、凸界面を定義していることに注目されたい。複数のトラジェクトリ1406~1410をもつ頂点ポイント1405も示されている。トラジェクトリ1406、1407および1410は、前進サーフェス1403および1404よりも後ろの移動点を定義している。よって、トラジェクトリ1406、1407および1410は無効であり、トラジェクトリ1408と1409とが有効である。このことは、無効トラジェクトリ点が、エッチングによって削除されてしまうことから、容易に観察される。

【0126】2次元構造の場合、有効な頂点、エッジおよび平面の各トラジェクトリは、頂点およびエッジが凸か凹かによって分類して、決定することができる。これは、2次元方法と呼ばれる。凸の場合、隣接平面および隣接エッジのトラジェクトリの後方にあるトラジェクトリは無効である。凹の場合、隣接平面および隣接エッジのトラジェクトリ的前方にあるトラジェクトリは無効である。無効トラジェクトリはクリップされる。クリップという用語は、無効トラジェクトリまたは無効部分(sections)の削除を指す。

【0127】3次元構造の場合、ある種の頂点ポイント、たとえば、サドル点は、凹または凸によって分類できない。一般に、高精度方法は、3次元構造を一連の2次元構造として解く。高精度方法を図23および図24(a)~(c)を参照して説明する。図23は高精度方法のステップを説明するフローチャートである。図22(b)、(c)、図23、図24(a)~(c)は、個々のステップの機能を示している。図23において、まず、ステップ1420で、サーフェスのエッジとサーフェス平面とが前進される。前進サーフェス平面は、図22(b)に示されている。図22(b)において、サーフェス平面1440~1442は、前進されて、サーフェス平面1443~1445となる。サーフェス平面は、以下のようにして前進される。各サーフェス上のあらゆる点は向き(orientation)が同じであるから、すべての点は

【0128】

【外1】

同一の移動ベクトル $\Delta P$ をもち、これがトラジェクトリを決定する。 $\Delta P$ は、

【0129】次式で与えられる。

【0130】

【数5】

$$\Delta P_x = \frac{dx}{dt} \Delta t = \Delta t \left( \frac{\partial c}{\partial \theta} \cos \phi \cos \phi + c \sin \phi \cos \phi \frac{\partial c \sin \phi}{\partial \phi \sin \theta} \right)$$

$$\Delta P_y = \frac{dy}{dt} \Delta t = \Delta t \left( \frac{\partial c}{\partial \theta} \cos \phi \sin \phi + c \sin \phi \sin \phi \frac{\partial c \sin \phi}{\partial \phi \sin \theta} \right)$$

$$\Delta P_z = \frac{dz}{dt} \Delta t = \Delta t \left( -\frac{\partial c}{\partial \theta} \sin \theta + c \cos \theta \right)$$

【0131】ここで、 $c$ は、サーフェスに垂直な速度（エッチングのときは負）、 $\Delta t$ は、点移動時のタイムステップである。また、 $\theta$ と $\phi$ は、

【0132】  
【外2】

サーフェス平面に対する法線ベクトル  $\hat{n}_A$  で与えられる。

【0133】サーフェス平面に対する新点  $P'_{Ai}$  は、次式で与えられる。

【0134】

【数6】

$$\overline{P'_{Ai}} = \overline{P_{Ai}} + \overline{\Delta P}$$

【0135】原サーフェス平面に含まれる全点のトラジェクトリが、前進サーフェス平面を形成する。

【0136】図24(a)は前進エッジを示している。エッジ1454の端点1450および1451に対応する、トラジェクトリポイント1452および1453が示されている。一般的に、端点1450および1451

$\hat{n}_A$  と  $\hat{n}_B$  の法線ベクトルをもつ2サーフェス平面間のすべての可能な向き  $\hat{n}_i$

【0139】を含む。

【0140】

【数7】

$$\hat{n}_i = t_i \hat{n}_A + (1-t_i) \hat{n}_B$$

【0141】 $P_{E1}$ および $P_{E2}$ は、エッジの端点であると仮定する。各端点は、数個の前進点を生じ、各前進点は、それぞれ、サーフェス向きに関する上の表現で  $0 < t_i < 1$  という値を有する。前進点は次式で与えられる。

【0142】

$\Delta P_i$  は、 $\hat{n}_i$  の法線ベクトルをもつサーフェスの移動ベクトルである。

【0145】ステップ1421において、各サーフェス平面交差部で、前進エッジとそれに対応する前進サーフェス平面をクリップし、一連の2次元クリップサーフェスを作る。2次元クリップサーフェスの数は、エッジの数と等しい。前進サーフェス平面の交差点をクリップする必要性は、図22(c)に示されている。サーフェス1445とサーフェス1447は、前進されて、サーフェス1446と1448とを作る。前進サーフェス1446と1448の結果として、交差エリア1449が作られたことに注意されたい。このような交差は、自己交差構造を作る。この構造の有効な表現を維持するために

は、頂点ポイントである。頂点ポイントと同じように、エッジはサーフェス法線をもたない。よって、エッジに沿う全点のトラジェクトリポイントは、端点のトラジェクトリポイントと同様である。以下に説明するように、これによって、無効となるトラジェクトリが、対応する前進サーフェス平面によって、いくつか作られるかも知れない。このような無効トラジェクトリは、上述した2次元ルールを用いて、クリップされる。

【0137】ここで、前進エッジの計算について説明する。これらのトラジェクトリは、

【0138】

【外3】

【数8】

$$\overline{P'_{E1i}} = \overline{P_{E1}} + \overline{\Delta P_i}$$

$$\overline{P'_{E2i}} = \overline{P_{E2}} + \overline{\Delta P_i}$$

【0143】ここで、

【0144】

【外4】

は、この交差がクリップされなければならない。前進エッジも、また、クリップされなければならない。

【0146】すべての2次元クリップサーフェスが作られたら、ステップ1422において、一对の2次元解が組み合わせられ、2次元解の交差部がみつけれられる。このステップにおいて、エッジ間の交差が調べられる。組み合わせられた2次元解は、有効および無効セクションをもつサーフェスをつくる。交差部がみつかったら、ステップ1423で無効セクションが同定され、ステップ1424で結果サーフェスからクリップされる。これらのステップ1422～1424が、全ての2次元解の対に対



して繰り返され、ステップ1425で、一連の組み合わせられた2次元解が作られる。

【0147】ステップ1422～1424は、図24(b)にさらに示されている。ここで、サーフェス1461は、サーフェス1460と交差している。サーフェス1460と1461は、場所1464で交差する。サーフェス1460は、交差1464を超えて延び、セクション1462を作る。同様に、サーフェス1461は、交差1464を超えて延び、セクション1463を作る。セクション1462および1463は無効である。なぜならば、これらのセクションは、前回の前進サーフェスを突き抜けて延びているからである。

【0148】ここまでは、前進サーフェス平面および前進エッジの前進とクリッピングとを考察してきた。ここで、頂点トラジェクトリを考察する。まず、ステップ1426において、頂点ポイントでソリッドと交差する任意の垂直平面を作る。任意の垂直平面が選ばれるのは、スパッタエッチングのようなプロセスが円筒対称だからである。次に、ステップ1427において、垂直平面内にある頂点トラジェクトリをつくる。頂点トラジェクトリは、上述した2次元法のような技法を用いて作られる。続いて、ステップ1428において、2次元法を用いて、垂直トラジェクトリが交差部でクリップされる。この交差部は、一連の組合せ2次元解における各サーフェスの各サーフェス平面と、作られた垂直平面との交差である。最後に、ステップ1429において、残りの頂点トラジェクトリから一つの頂点トラジェクトリが、頂点移動のために選択される。一般に、サーフェスの平均法線に近いトラジェクトリが適している。

【0149】ステップ1426～1428は、図24(c)に示されている。ここで、2次元組合せ解1474が、頂点1470に関して示されている。ソリッドと交差する任意のテスト平面1471が、2次元組合せ解1474のサーフェス平面1473とともに示されている。頂点ポイント1470のトラジェクトリ1472は、上述した2次元法によってクリップされる。

【0150】異なるエッチング速度をもつ2物質の界面での頂点移動計算

異なるエッチング速度をもつ2物質の界面で、頂点移動が行われる場合は、特別な取扱が必要である。頂点移動計算の一般概要は、図25、図26(a)、(b)および図27(a)～(d)に示されている。図25は、この方法の概要を示すフローチャートである。この方法を説明する前に、まず、移動界面頂点を説明することが必要である。移動界面頂点(moving interface vertex)は、ふつうの界面頂点(interface vertex)に対応し、プロセスステップに応答して頂点移動を受ける。界面頂点は、より速いエッチング速度をもつ物質に対応する移動速度と、界面エッジに沿う移動方向とを有するであろう。図25において、まず、ステップ1501で、界面

頂点が移動界面頂点に変換される。次に、ステップ1502で、分割界面頂点(split interface vertices)が挿入される。各分割界面頂点は、この界面における物質の一つと関連づけられる。このような分割界面頂点は、移動界面頂点と同じ座標点である。ステップ1503において、界面頂点と分割界面頂点との頂点移動計算が実行され、それに応じて頂点が移動される。このような頂点移動は、上述した頂点移動計算技法を用いて実行される。頂点移動後、ステップ1504において、界面頂点のごく近傍の分割界面頂点はすべて削除される。これは、このような分割界面頂点は、結果構造に影響しないからである。最後に、ステップ1505において、残りの分割界面頂点は、対応する物質のふつうの頂点に変換され、移動界面頂点は、ふつうの界面頂点に変換される。

【0151】図26(a)、(b)は、多物質界面における、分割界面頂点の挿入と、対応する移動ベクトルの計算とを示している。図26(a)において、物質A・1521は、物質B・1522に隣接している。界面頂点1520は、物質A・1521と物質B・1522の露出された境界点にある。第2の界面頂点1525も示されている。この場合は、界面頂点1525は露出されていない。さらに、物質A・1521に対応する頂点1523と、物質B・1522に対応する頂点1524とが示されている。図26(b)において、物質A・1521に対応する分割界面頂点1527と、物質B・1522に対応する分割界面頂点1528とが挿入されている。さらに、界面頂点1520が移動界面頂点1526に置き換えられている。分割界面頂点1527および1528と、移動界面頂点1526とは、同一の座標値をもっているが、ここでは明確にするために分離して示してある。

【0152】図27(a)、(b)は、分割境界頂点が双方とも、対応する移動ベクトルをもっている場合を示している。図27(a)において、頂点1523および1524は、対応する移動ベクトル1529および1533をもっている。さらに、分割界面頂点1527および1528は、対応する移動ベクトル1530および1532をもっている。最後に、移動界面頂点1526は、対応する移動ベクトル1531をもっている。頂点1525は、対応する移動ベクトルをもっていないことに注意されたい。これは、頂点1525が露出されていないからである。分割界面移動ベクトル1530および1532と、移動界面ベクトル1531の計算を以下に説明する。

【0153】図27(b)において、頂点が移動される。破線1534は物質A・1521の元の位置であり、破線1535は物質B・1522の元の位置であることに注意されたい。この場合、削除される分割界面頂点はない。後続のステップにおいて、分割界面頂点15

27および1528は、それらの物質のふつうの頂点になり、界面頂点1524は、ふつうの界面頂点になるであろう。

【0154】図27(c)、(d)は、ある分割界面頂点あるいは界面頂点について計算された対応する移動ベクトルの長さがゼロの場合を示している。このような例は、垂直エッチングプロセスステップのときに生じることがある。いずれにせよ、図27(c)において、移動ベクトル1536は、分割界面頂点1528に対応している。さらに、移動ベクトル1537は、頂点1524に対応している。図27(d)を参照すると、分割界面頂点1528とふつうの頂点1524が移動している。破線1538は、物質B・1522が最初にあった箇所を示していることに注意されたい。さらに、分割界面頂点1527は、消去されていることに注意されたい。これは、この分割界面頂点の座標が移動界面頂点1526の座標と同一だからである。ここで、移動界面頂点1526は、ふつう界面頂点となる。

【0155】図28(a)～(c)は、分割界面頂点に対する移動ベクトルの計算を示している。分割界面頂点に対する移動ベクトルの計算は、一般に、2ステップからなる。(1)界面頂点でのシャドー効果を計算する。

(2)分割界面頂点と各物質に対して隣接するふつうの頂点とを含む、移動ベクトル計算のための仮想構造を作製する。一たび仮想構造が作製されると、移動ベクトルの計算は、単一物質の場合と同様に進められる。図28

(a)～(c)は、図26(b)に示す構造の移動ベクトル計算を示している。図28(a)は、シャドーイング計算のための構造を示す。シャドー計算と、それらがどのように実行されるかが、以下にさらに詳細に説明される。いずれにせよ、界面頂点および分割界面頂点についてのシャドー計算は同じである。図28(b)は、分割界面頂点1527に対する物質A・1521の仮想構造を示す。これは、単に、物質Bを除いた物質Aの構造である。図28(c)は、分割界面頂点1528における物質B・1522に対する仮想構造を示す。この仮想構造も、また、物質Aを除いた物質Bに近い。

【0156】図29(a)～(c)は、移動界面頂点の移動ベクトルの計算を示す。界面頂点での移動ベクトルの計算は、次のステップからなる。(1)シャドーイング効果を決定する。(2)各物質の仮想構造を定義する。(3)境界平面上で同一方向に沿って、双方の物質の移動ベクトルを計算する。(4)最大のベクトルを境界頂点の移動ベクトルとして選択する。図29(a)において、物質A・1521は、実サーフェス1541上に頂点ポイント1539をもち、物質B・1522は、実サーフェス1542上に頂点1524をもつ。さらに、移動界面頂点1525が示されている。図29

(b)は、物質A・1521に対して作られた仮想構造を示す。ここで、実サーフェス平面1541と垂直平面

1540の双方が、仮想構造の作製に利用されている。ここで、実サーフェス平面1541が用いられているのは、これが、移動界面頂点1526の移動ベクトルの計算に影響を与えるからである。これは、サーフェス境界平面の部分、実サーフェス平面が単なる垂直面の場合よりも、迅速に露出されるからである。いずれにせよ、その結果、移動ベクトル1570が計算される。図29(c)は、物質B・1522に対する仮想構造を示す。この場合、仮想構造は、垂直平面1543のみからなる。その理由は、実サーフェス平面1542は、移動界面頂点1526の移動ベクトル1571の計算に何の影響も及ぼさないからである。この場合、物質A・1521の移動ベクトル1570は、物質B・1522の移動ベクトル1571よりも大きい。したがって、移動ベクトル1570が、移動界面頂点1526の移動ベクトルとして定義される。

【0157】図30(a)～(c)は、仮想構造を作るのに、実サーフェス平面を使用しない場合を示している。図30(a)において、物質A・1521は、実サーフェス上1545上に頂点1544をもっている。物質B・1522は、実サーフェス上1546上に頂点1524をもっている。図30(b)は、物質A・1521について作られた仮想構造を示している。ここで、仮想構造を作るのに、垂直平面1547のみが使われている。その理由は、実サーフェス平面1545が、移動界面頂点1526の移動ベクトル1548の計算に影響しないからである。図30(c)は、物質B・1522の仮想構造を示す。ここで、仮想構造を作るのに、垂直平面1549のみが使われている。図29(c)に関して述べたように、実サーフェス平面1546は、界面頂点1526の移動ベクトル1560の計算に何の影響も与えないであろう。この場合、物質A・1521に対応する界面頂点移動ベクトル1548が、物質B・1522に対応する移動界面頂点1526の移動ベクトル1550より大きい。したがって、移動ベクトル1548が、移動界面頂点1526の移動ベクトルとして定義される。

【0158】図31(a)～(d)は、界面頂点の移動ベクトルの3次元計算を示す。図31(a)において、物質A・1521は、2つのサーフェス平面をもっている。第1のサーフェス平面は、水平三角形セグメント1551～1553から構成され、第2のサーフェス平面は、垂直三角形セグメント1554～1556から構成される。物質B・1522は、水平三角形セグメント1551～1553および1557～1559から構成される。また、分割界面頂点1561および1562と、移動界面頂点1560が示されている。さらに、界面エッジベクトル1563および1564が示されている。界面エッジベクトル1563および1564は、物質A・1521および物質B・1522の間の界面のエッジ

を横断している。

【0159】図31(b)は、結果移動ベクトルの方向を示す。移動ベクトルの方向は、境界平面上の2つの境界エッジベクトルの2等分線として定義される。ここでの境界平面は、物質A・1521のセグメント1551～1553と、物質B・1522のセグメント1557～1559とからなることに注意されたい。ここで、移動ベクトルの方向は、1561によって示されている。これは、セグメント1551～1553からなる水平境界平面上の、界面エッジベクトル1563および1564を、2等分している。

【0160】図31(c)は、物質A・1521の仮想構造を示している。ここで、仮想構造は、垂直セグメント1554～1556からなる実サーフェス平面と、垂直平面1565とから構成されている。移動ベクトルは、1566として計算される。

【0161】図31(d)は、物質B・1522について作られた仮想構造を示す。ここで、水平セグメント1557～1559によって定義される実サーフェス平面は、移動ベクトルの計算には何の影響も及ぼさない。よって、それらは除去される。仮想構造は、垂直平面1567からなる。ここで、移動ベクトルは、1568として計算される。この場合、移動ベクトル1568は、移動ベクトル1566より大きいため、界面頂点1560の移動ベクトルとして定義される。

【0162】粒子フラックスシャドーイング  
移動ベクトルを正確に計算するために、立体角開口部を通して入ってくるフラックスを正確に計算しなければならない。入射フラックスは、デポジションあるいはエッチングの行われるウェハ上の物質に投射される。立体角開口部は、近傍形状によってシャドウされない点上の空間部分である。シャドーイングは、コンピュータグラフィックスの分野で普通に使用されている用語である。コンピュータグラフィックスにおいて、シャドーイングとは、あるオブジェクトの個々の点を暗くすることを意味し、それは、このオブジェクトが、ある光源に関して、他のオブジェクトの陰に隠れるためである。ここで、ある点がシャドー内に存在するのは、ソースからの粒子の通路が対象物（たとえば、半導体ウェハ）の形状の他の部分によって遮られるからである。

【0163】フラックスのソースは、ウェハ上で変動する(vary)であろうから、3次元構造の任意の点に対して、近傍形状は、複雑なマスクを形成する。したがって、立体角開口部を解析的に決定することは、不可能ではないにしても、困難である。好適な実施例の方法は、サーフェス上の空間内に、一つのメッシュを定義する。このメッシュは、対象物上に存在するソースを表す。メッシュ上の各点は、メッシュに垂直な方向の粒子フラックス強度を表す。2種類のメッシュが定義できる。第1は、半球メッシュであり、空間的に変動しなフラックス

をもつ入射粒子に使用される。半球メッシュでは、各メッシュ点が、方向と立体角とによって、定義される。

【0164】このような半球メッシュが、図32

(a), (b)に示されている。半球メッシュの各メッシュ点は、角 $\theta$ および $\phi$ によって定義される。これが、図32(a)および(b)の1681および1683に、それぞれ示されている。第2は、サーフェスから有限の距離に置かれた平面メッシュである。平面メッシュは、入来フラックスの強度が空間的に変動する、スパッタデポジションのシミュレーションに使用できるであろう。平面メッシュにおいては、各メッシュ点は、その実座標によって定義される。平面メッシュの一例が図32(c)に示されている。メッシュ1684上のメッシュ点は、符号1685によって示されるように、メッシュを構成する座標点によって定義されている。

【0165】これら2種類のメッシュに対して、入射フラックスの強度が、各メッシュ点について決められる。さらに、各サーフェス点について、各メッシュ点が見えるか否かがチェックされる。(上述した)3次元統一方程式の可視成分を計算するには、可視点からの寄与のみを含める。

【0166】図32(d)は、個々のターゲット点に關し、シャドーに入るメッシュ点を決める技法を示す。図32(d)において、ソリッド1686は、複数の三角形からなるサーフェスをもっている。メッシュ1687が示されている。ここでは平面メッシュを使用しているが、半球メッシュでもよい。さらに、ターゲット点1689と三角形1688とが示されている。ターゲット点1689を、三角形フェース1688を通してメッシュ1687に投影すると、一連のメッシュ点1690が同定される結果となる。これら一連内のメッシュ点1690は、ターゲット点1689には見えない。同様の計算がソリッド1686のサーフェス上の各三角形に対して行われる。

【0167】図32(d)を参照して説明したような技法は、非常に時間がかかる。しかも、メッシュ点がシャドー内にあると同定する、多くの三角形が重複して出てくるであろう。また、たとえば、ターゲット点と同一平面にある三角形のように、シャドーにあるメッシュ点の一つも同定しない三角形も、多く出てくるであろう。もっと効率的な方法が図33に示されている。図33においても、ソリッド1686は、三角形に分割されたサーフェスをもっている。しかしながら、メッシュ点シャドー計算には、ターゲット点に面した三角形のみが使用される。ここで、斜線の引かれた三角形、たとえば、三角形1692は、計算に使用されない。なぜならば、これらの三角形は、ターゲット点1689に面していないからである。逆に、斜線の引かれていない三角形、たとえば、三角形1691は、ターゲット点に面しているため、シャドー内に入るメッシュ点を同定するために使用

される。

【0168】図34および図35(a), (b)は、好適な実施例において、見えるメッシュ点を同定するシャドウ計算を示している。ここで説明する方法は、平面メッシュおよび球体メッシュの双方に適用できることに注意されたい。図34において、最初のステップ1601で、すべてのメッシュ点が「オフ」状態に初期化される。ソリッドサーフェスのすべての頂点ポイントがシャドウイング計算を受けるので、メッシュを、スタートイング/デフォルト状態に初期化する必要がある。次に、ステップ1602において、ソリッド上のターゲット点について、点シャドウ多角形が作られる。この多角形は、考慮中の頂点に隣接する一連のフェースの、外側境界線から形成される。続いて、ステップ1603において、この多角形がソースメッシュ平面上に投影される。ステップ1604において、投影された多角形内に入らないメッシュ点は、「オン」状態にされる。

【0169】ここまでのステップが図35(a)に示されている。図35(a)において、ターゲット点1640の多角形1641が、ソース平面メッシュ1650の上に投影される。ソース平面メッシュ1650は、複数のメッシュ点をもっている。黒（「オン」）のメッシュ点は、このメッシュ点が、ターゲット点に関してシャドウ内にあることを示している。逆に、白（「オフ」）のメッシュ点は、シャドウ内にない。たとえば、メッシュ点1642~1647は、投影多角形内にあり、シャドウ内にない。したがって、「オフ」である。他の点、たとえば、メッシュ点1648は、投影多角形内にないので、「オン」である。

【0170】シャドウ内にある他のメッシュ点を決定するために、形状の他の部分の影響が考慮される。これは、エアソリッドの分析によって行われる。第1に、ステップ1605で、エアソリッドから三角形フェースが選択される。これは、エアソリッド構造をアクセスし、フェース構造においてリンクされたフェースを調べることによって実行される。次に、ステップ1606において、選択された三角形フェースが調べられ、それがターゲット点に面しているか否かがみられる。ターゲット点に面している三角形フェースのみが、以後の処理を受ける。これによって、シャドウ計算のこの部分のエアソリッド構造の分析が簡単化される。三角形フェースがターゲット点に面していない場合は、ステップ1609において、これが最後の三角形フェースか否かが決定される。三角形フェースがターゲット点に面している場合は、ステップ1607において、その三角形がソースメッシュ上に投影される。投影三角形内に見いだされたメッシュ点は、ステップ1608で「オン」状態にされる。これの効果は、上述した点シャドウ多角形投影後に、前回は「オフ」であったいくつかの点を、「オン」とするということである。

【0171】エアソリッドの三角形フェースの投影が、図35(b)に示されている。ここで、三角形フェース1651は、ターゲット点1640に面している。三角形フェース1651の投影と交差する、ソース平面メッシュ1652の部分は、最初は、すべて「オフ」状態であったと仮定すると、投影三角形フェースは、メッシュ点1654~1658を「オン」状態に切り替えたこととなる。

【0172】ステップ1609において、エアソリッド上の最後の三角形フェースかのチェックが行われる。エアソリッド上の最後の三角形フェースでない場合は、ステップ1605で、エアソリッド上の他の三角形フェースが取り出され、処理が続けられる。そうでなく、エアソリッド上の最後の三角形フェースならば、今のターゲット点に対するシャドウイングが完了し、ステップ1610で、次のターゲット点に対する処理が繰り返される。

【0173】投影多角形に基づいて、メッシュ点を「オフ」状態にする方法を、図36を参照して説明する。このような方法は、図34に示すように、「オフ」メッシュ点を決定するのに使用される。まず、ステップ1660において、投影多角形のエッジを定義する2点が同定される。次に、ステップ1661において、このエッジ頂点と、メッシュの原点を定義する座標点とを用いて三角形を作る。ステップ1662において、作られた三角形内のメッシュ点の状態を反転する。ステップ1663で、最後の隣接2点かのチェックが行われる。最後の2点でないならば、ステップ1660で処理が繰り返される。最後の2点ならば、処理は終了する。メッシュ点を「オフ」状態にするこの方法は、メッシュ点を「オフ」状態とするための技法の一つに過ぎない。他の方法も、本発明の精神と範囲とを逸脱することなく使用できるであろう。

【0174】投影多角形から、メッシュ点をオフとする方法が、図37(a)~(f)に示されている。図37(a)において、多角形1670bは、メッシュ1670aの上に投影され、頂点ポイント1671~1674をもっている。メッシュ1670aの座標軸の原点1675も示されている。図37(b)において、頂点ポイント1671、1672および原点1675によって、三角形1676が作られる。この三角形の境界内のメッシュ点は、「オン」状態から「オフ」状態になっていることに注意されたい。図37(c)において、頂点ポイント1672、1673および原点1675によって、三角形1677が作られる。再び、この三角形1677の境界内のメッシュ点は、「オン」状態から「オフ」状態になっている。

【0175】図37(d)において、頂点ポイント1673、1674および原点1675によって、三角形1678が作られる。再び、この三角形1678の境界内

のメッシュ点は、「オン」状態から「オフ」状態になっている。ここまでで、「オフ」状態のメッシュ点の数が、図37(a)に示された元の投影四辺形の境界を超えたことが、明らかであろう。これは、図37(e)に示すようにして修正される。ここで、頂点ポイント1671、1674および原点1675によって、三角形1679が作られる。ここで、この三角形1679の境界内の、以前「オフ」状態であったメッシュ点は、「オン」状態にされる。この結果得られた「オフ」状態の一連のメッシュ点が、図37(f)に示されている。

#### 【0176】サーフェス移動スイーピング法

好適な実施例のサーフェススイーピング法は、エアソリッドを生成するのに用いられている。ここでいうサーフェススイーピングとは、ソリッドサーフェスを構成する各フェースを移動して、エアソリッドの変形を生じさせることを意味する。しかしながら、頂点を扱って変形を生じさせることを、物質ソリッドそのものに直接行うようにした、別の実施例も実施できるであろう。このような他の実施例も、本発明の精神と範囲とに含まれるであろう。また、サーフェススイーピングは、ソリッドモデリングシステムで見いだされる、スイーピングの概念とは異なることに注意されたい。スイーピングがソリッドの作製を意味するのに対して、サーフェススイーピングはソリッドの変形を意味する。

【0177】境界表現モデルで表現されたソリッドは、それが変形プロセスを受けて自己交差になったなら、無効である。無効表現は、ソリッドモデラによって適切に解釈することができない。ソリッド表現が自己交差となるのは、結果構造のフェースが隣り合うフェース以外のフェースと交差する場合である。これは、変形プロセスにおいて、頂点ポイントが近接して並んだ場合に、起こるのが普通である。このような自己交差構造の作られた例が、図38(a)、(b)に示されている。図38

(a)、(b)は、2次元表現であるが、3次元にも同じ原理が当てはまる。図38(a)は、エッチングプロセスを受けるオブジェクト1701を示している。オブジェクト1701は、頂点ポイント1703~1714によって定義されている。エッチングプロセスの間に、オブジェクト1701の首1702が取り除かれるであろう。上述したように、各頂点ポイントについて、移動ベクトルが計算される。その結果構造が図38

(b)に示されている。移動された頂点ポイントが移動前の頂点ポイントと同じ方法で接続されるならば、結果は、点1723~1734によって定義された、無効の自己交差構造となる。なぜならば、点1724と1725とを接続して定義されたフェースは、点1729と1730および1731と1732とを、それぞれ接続して定義されたフェースと交差しているからである。同様に、点1730と1731とを接続して定義されたフェースは、点1725と1726および1723と172

4とを、それぞれ接続して定義されたフェースと交差している。

【0178】好適な実施例のサーフェス移動スイーピングでは、自己交差構造が作られるのを避けている。それは、全サーフェスの移動を各セグメントの移動に分解することによって行われる。このような方法が、図38

(a)に示した最初の構造を用いて、2次元の場合について、図39(a)、(b)を参照して説明される。以下にさらに詳述するように、好適な実施例では、これらのセグメントは三角形である（これは、3次元構造に対応させるためである）。しかしながら、これから説明する例は、上記の例の上に立ち、説明されるセグメントは、2次元の線分である。いずれにせよ、図39(a)において、エッチングステップが始められて、第1の平行四辺形1801が實際上除去される。これは、原頂点ポイント1703と1704を新頂点ポイント1723と1724に移動し、原頂点ポイントおよび前進頂点ポイントで定義されるソリッドと、原ソリッド1701

(図示してない)との間でブール集合差演算を行ってなされる。図39(b)において、第2の平行四辺形1802が實際上除去される。これは、原頂点ポイント1704と1705を新頂点ポイント1724と1725とに移動し、上述したようにブール集合差演算を実行して行われる。この時点で、原ソリッド1701は、2つの別々のソリッド、すなわち、ソリッド1803とソリッド1804とに分割される。こうして、自己交差構造は生じない。

【0179】上述したように、好適な実施例のサーフェススイーピング法では、ソリッドサーフェスは三角形グリッドで表されているものと仮定している。サーフェスソリッドは、上述した三角形化およびグリッド調整ステップで、三角形サーフェスフェースに分解される。サーフェス移動は、1度に一つの三角形を移動させるという動作を、オブジェクトソリッドのサーフェス全体に渡って繰り返して、サーフェス移動が行われる。エアソリッドの場合、三角形の移動は、次のステップを含んでいる。三角形の頂点移動を計算すること、三角形の原頂点および移動後の頂点を用いて仮ソリッドを作ること、および、実行中のプロセスステップに対応するブール集合演算を、作製された仮ソリッドと原オブジェクトソリッドとの間で実行すること。一度になされる頂点移動の最大ベクトル長は、三角形の最小長の半分よりも短くなければならない。タイムステップはいくつあってもよいから、頂点移動には、實際上制限がない。

【0180】図40(a)、(b)は、サーフェス上のスイープされた三角形（以後、単に、スイープ三角形という）を示している。図40(a)において、ソリッドサーフェス1901は、三角形1912を含む複数の三角形に分割されている。三角形1912は、頂点ポイント1902、1903および1904によって定義され

ている。図40(b)は、三角形1912に対応するスイープされたソリッド(以後、単に、スイープソリッドという)1911を示す。頂点ポイント1907, 1906および1905は、頂点ポイント1902, 1903および1904にそれぞれ対応する前進頂点ポイントである。対角線1908, 1909および1910は、スイープソリッド1911の各四辺形サーフェスを、三角形化するのに使用されている。三角形化は、2組の対角点の一方を接続してできることに注意されたい。スイープ隣接ソリッドに対して矛盾がない限り、どちらの組を選択しても問題ではないことに注意されたい。三角形化は、有効な境界表現モデルが定義できるように行われなければならないことに、注意されたい。なぜならば、四辺形の点は、一般に同一平面上にないからである。

【0181】デポジションプロセスに対するサーフェス移動法は、一般に、次のように表すことができる。

【0182】

【数9】 $O = \text{原ソリッド}$

$T = \text{仮ソリッド}$

$S(i, j, k) = \text{点 } P_i, P_j, P_k \text{ から形成されたスイープソリッド}$

とし、 $T=O$ を実行し、 $(P_i, P_j, P_k)$ によって記述されるサーフェス上の全三角形について

【0183】

【数10】 $T = T \cup S(i, j, k)$

を実行する。

【0184】ループ終了時点では、 $T$ は、移動後のサーフェスを備えたソリッドである。

【0185】エアソリッドの変形をともし、他の記述では、デポジションは次のように定義される。

【0186】

【数11】 $OA = \text{原エアソリッド}$

$TA = \text{仮エアソリッド}$

$S(i, j, k) = \text{点 } P_i, P_j, P_k \text{ から形成されたスイープソリッド}$

とし、 $TA=OA$ を実行し、 $(P_i, P_j, P_k)$ によって記述されるサーフェス上の全三角形について

【0187】

【数12】 $TA = TA - S(i, j, k)$

追加物質ソリッド $= OA - TA$

新物質ソリッド $= \text{旧物質ソリッド} \cup \text{追加物質ソリッド}$

を実行する。

【0188】ただし、加えられるものが新物質の場合は、追加物質ソリッドが新物質ソリッドになる。

【0189】エッチングの場合も、実行されるブール集合演算が異なるだけで、あとは全く同じである。エッチングの場合、物質ソリッドに関する演算は、次のように表すことができる。

【0190】

【数13】 $O = \text{原ソリッド}$

$T = \text{仮ソリッド}$

$S(i, j, k) = \text{点 } P_i, P_j, P_k \text{ から形成されたスイープソリッド}$

とし、 $T=O$ を実行し、 $(P_i, P_j, P_k)$ によって記述されるサーフェス上の全三角形について

【0191】

【数14】 $T = T - S(i, j, k)$

を実行する。

【0192】ループ終了時点では、 $T$ は、移動後のサーフェスを備えたソリッドである。一方、エアソリッドに関しては、エッチングアルゴリズムは、次のように定義される。

【0193】

【数15】 $OA = \text{原エアソリッド}$

$TA = \text{仮エアソリッド}$

$S(i, j, k) = \text{点 } P_i, P_j, P_k \text{ から形成されたスイープソリッド}$

とし、 $TA=OA$ を実行し、 $(P_i, P_j, P_k)$ によって記述されるサーフェス上の全三角形について

【0194】

【数16】 $TA = TA \cup S(i, j, k)$

$OA = TA$

新物質ソリッド $= \text{旧物質ソリッド} \cup TA$

を実行する。

【0195】デポジションとエッチングの同時進行

ある種の物理的プロセスでは、サーフェスの一部がエッチングされ、他の一部がデポジションされるという場合がある。好適な実施例においては、このようなデポジションとエッチングの同時進行のシミュレーションでは、まず、デポジションソリッドとエッチングソリッドとが、サーフェスの各フェースについて、作製される必要がある。デポジションソリッドとエッチングソリッドとの作製では、まず、サーフェスの各フェースについて、仮デポジションソリッドと仮エッチングソリッドとを作製することが必要である。その後、処理中のフェースの仮ソリッドと、隣接フェースの仮ソリッドとの間で、ブール演算が行われる。フェースが隣接しているとは、エッジまたは頂点が隣接しているときである。

【0196】すべてのデポジションソリッドおよびエッチングソリッドが、あらゆるフェースについて作られたら、各デポジションソリッドと原ソリッドとの間でブール集合和演算が行われ、デポジションの効果が形成される。エッチングの効果は、デポジションの効果を形成するために生成したソリッドと、各エッチングソリッドとの間に、ブール集合差演算を行うことによって、シミュレートされる。

【0197】デポジションとエッチングの同時進行の場合の記述は、図41と以下の定義とによってなされる。

【0198】 $O = \text{原ソリッド}$



$D(i, j, k)$  = 三角形  $(i, j, k)$  に関するデポジションスイープソリッド

$TD(i, j, k)$  = 三角形  $(i, j, k)$  に関する仮デポジションスイープソリッド

$TDn(i, j, k)$  = 三角形  $(i, j, k)$  の最近傍  $n$  に関する仮デポジションスイープソリッド

$E(i, j, k)$  = 三角形  $(i, j, k)$  に関するエッチングスイープソリッド

$TE(i, j, k)$  = 三角形  $(i, j, k)$  に関する仮エッチングスイープソリッド

$TEn(i, j, k)$  = 三角形  $(i, j, k)$  の最近傍  $n$  に関する仮エッチングスイープソリッド

図41は、デポジションとエッチングの同時進行のシミュレートプロセスを、さらに詳細に記述するフローチャートである。まず、ステップ2001において、ソリッドサーフェス上の各フェースに対して、仮デポジションソリッドと仮エッチングソリッドとが作製される。仮デポジションソリッドと仮エッチングソリッドとの作製を以下に説明する。

【0199】ステップ2002において、好適な実施例の方法では、デポジションソリッドを作製することが必要である。フェースに関するデポジションソリッドの作製には、そのフェースに関する仮デポジションソリッドと各隣接フェースに関する仮エッチングソリッドとの間で、ブール集合差演算の実行が含まれる。上述した表記を用い、次のようなループを使用して、デポジションソリッドが作られる。

【0200】

【数17】  $D(i, j, k) = TD(i, j, k) - O$

を実行し、最近傍のすべての三角形について、

【0201】

【数18】  $D(i, j, k) = D(i, j, k) - TEn(i, j, k)$

を実行する。

【0202】ループ終了時には、 $D(i, j, k)$  がデポジションソリッドとなる。

【0203】次に、ステップ2003において、サーフェスソリッド上の各フェースについて、エッチングソリッドが作製される。フェースに関するエッチングソリッドの作製には、そのフェースに関する仮エッチングソリッドと各隣接フェースに関する仮デポジションソリッドとの間で、ブール集合差演算の実行が含まれる。再び、上述した表記を用い、エッチングソリッド作製のループは、次のように定義される。

【0204】

【数19】  $E(i, j, k) = TE(i, j, k) \cap O$

を実行し、最近傍のすべての三角形について、

【0205】

【数20】  $E(i, j, k) = E(i, j, k) - TDn(i, j, k)$

を実行する。

【0206】ループ終了時には、 $E(i, j, k)$  がエッチン

グソリッドとなる。

【0207】ステップ2002と2003とは、ソリッド上のすべてのフェースについて繰り返される。ステップ2004において、最後のフェースについて、デポジションソリッドおよびエッチングソリッドが作製されたか否かがチェックされる。最後のフェースについて、デポジションソリッドおよびエッチングソリッドが作製されていなければ、次のフェースについて、ステップ2002と2003が繰り返される。

【0208】各フェースについて、デポジションソリッドおよびエッチングソリッドの作製が完了したら、原ソリッドとデポジションソリッドの一つとから始めて、ブール集合和演算が実行される。続いて、ブール集合和演算は、前回の演算結果と他のデポジションソリッドの一つとの間で、実行される。これは、各デポジションソリッドとの演算が、ステップ2005で、完了するまで続けられる。

【0209】最後に、ステップ2006において、ステップ2005から得られたソリッドと、各エッチングソリッドとの間で、ブール集合差演算が実行される。ステップ2005～2006は、上述した表記を用いて、次のループで記述されるであろう。

【0210】

【数21】  $N = O$

を実行し、サーフェス上のあらゆる三角形  $(i, j, k)$  について、

【0211】

【数22】  $N = N \cup D(i, j, k)$

$N = N - E(i, j, k)$

を実行する。

【0212】非多様体構造 (non-manifold structure) が作られるのを避けるために、三角形の処理順序が重要であることに、さらに注意されたい。ある種のソリッドモデルは、非多様体構造については、ブール集合演算を計算できないことが知られている。好適な実施例では、最初の三角形以降の各三角形は、先に移動された三角形と、少なくとも1エッジを共通にしなければならない。先に移動された三角形と1点で接してはならない。

【0213】この方法の実施においては、各フェースを、スイープソリッド/ブール集合演算処理で取り扱う必要があるということに、注意されたい。処理時間を節約するために、このように扱うのは、自己交差フェースのみでよい。このようなフェースの決定は、「ポイント・イン・ソリッド」アルゴリズムによって容易に行われる。

【0214】各フェースについての、仮デポジションソリッドおよび仮エッチングソリッドの作製と、結果デポジションソリッドおよび結果エッチングソリッドの作製とを、さらに詳細に説明する。上述したように、仮デポジションソリッドおよび仮エッチングソリッドは、各フ

エースについて作製しなければならない。三角形がデポジションまたはエッチングのみを受ける場合は、仮デポジションソリッドまたは仮エッチングソリッドの作製は、単に、頂点ポイントを前進させて、一つの仮デポジションソリッドまたは仮エッチングソリッドを作製するという問題に帰着する。三角形がデポジションおよびエッチングの双方を受ける場合は、仮デポジションソリッドおよび仮エッチングソリッドの双方が作製される。デポジションとエッチングとが同時に起きる三角形では、3頂点のうちの2頂点は、他の1頂点と異なるプロセスを受けることは、明かである。仮デポジションソリッドおよび仮エッチングソリッドの作製が、原頂点ポイントと前進頂点ポイントとによって定義された三角形によって、矛盾なく記述できるということが、分かっている。原頂点ポイントをP1、P2およびP3で定義し、対応する前進頂点ポイントをAP1、AP2およびAP3で定義する。2点(P1およびP2)がデポジションを受け、他の1点(P3)がエッチングを受ける場合、仮デポジションソリッドは、次の三角形によって作製される。

【0215】 P1, AP1, AP2

P1, AP2, P2

P1, AP1, AP3

P2, AP2, AP3

AP1, AP2, AP3

P1, P2, AP3

仮エッチングソリッドは、次の三角形によって作製される。

【0216】 P3, AP3, AP1

P3, AP3, AP2

AP1, AP2, AP3

P3, AP1, AP2

2点(P1およびP2)がエッチングを受け、他の1点(P3)がデポジションを受ける場合、仮デポジションソリッドは、上述した2点デポジションで説明した、仮エッチングソリッドと同じ構造となる。同様に、仮エッチングソリッドは、上述した2点デポジションで説明した、仮デポジションソリッドと同じ構造となる。

【0217】 図42(a), (b)は、オブジェクトソリッド上の各フェースについての、デポジションソリッドおよびエッチングソリッドの、2次元での作製を示す。図42(a)において、オブジェクトソリッド2101はフェース2102を有し、このフェースは、隣接フェース2105および2106をもっている。この図42(a)には、フェース2102についての、仮デポジションソリッド2104および仮エッチングソリッド2103も示されている。図42(b)には、フェース2105についての、仮デポジションソリッド2108が示されている。また、フェース2106についての、仮エッチングソリッド2107も示されている。図42

(a) および(b)に示す仮デポジションソリッドおよび仮エッチングソリッドの作製は、上述したようにして行われた。

【0218】 図43(a)は、フェース2102についてのデポジションソリッドの作製を示す。上述したように、第1ステップとして、原ソリッド2101と、フェース2102についての仮デポジションソリッド2104との間で、ブール差演算がとられる。図43(a),

(b) および図44(a), (b)において、原ソリッドサーフェスの外形を示す破線は、仮デポジションソリッドおよび仮エッチングソリッドの位置の、準拠枠を与えるために描かれている。いずれにせよ、この第1ブール差演算の結果は、中間デポジションソリッド2201として示されている。次に、図43(b)において、生成された中間デポジションソリッド2201と、隣接フェースの仮エッチングソリッドとの間で、ブール差演算の第2ステップが実行される。ここで、唯一の隣接エッチングソリッドが、仮エッチングソリッド2107として、フェース2106上に見いだされる。この結果、フェース2102に関するデポジションソリッド2202が作製される。ブール集合差演算によって、中間デポジションソリッド2201の一部が除かれることに注意されたい。これは、隣接フェースへのエッチングの効果を示している。

【0219】 図44(a), (b)は、フェース2102についてのエッチングソリッドの作製を示している。図44(a)において、仮エッチングソリッド2103と原ソリッド2101との間でブール集合積演算が実行される。この結果、中間エッチングソリッド2301が作製される。次に、図44(b)において、この中間エッチングソリッド2301と、フェース2105の仮デポジションソリッド2108との間で、ブール集合差演算がとられる。この結果、エッチングソリッド2302が、フェース2102に関して作製されていく。ここで、ブール集合差演算によって、中間エッチングソリッド2301の一部が除かれることに注意されたい。これは、隣接フェースへのエッチングの効果を示している。

【0220】 製造プロセスステップ中のウェハ上の物質層の変形をシミュレートする方法が開示された。一般化されたソリッドモデリング法を用いて、等方性および異方性デポジションおよびエッチングプロセスステップの双方がシミュレートされるであろう。

【0221】

【発明の効果】 以上説明したように、本発明によれば、CTS法の限界を解消することができる。また、プロセスシミュレーション環境の他の構成部分とよく調和する、ソリッド表現を作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a) ~ (c) はデポジション、エッチング、スパッタエッチングプロセスステップによって生じた特



微形状を示した図であり、(d)はデポジションプロセスステップの間に生じたボイドを示した図である。

【図2】本発明の好適な実施例が実施されるコンピュータシステムを示した図である。

【図3】(a)は本発明の好適な実施例で使用する物質ソリッドおよびオブジェクトの集合としてのVLSIを示した図であり、(b)は本発明の好適な実施例の基本システム構造を示した図である。

【図4】本発明の好適な実施例の動作フローチャートである。

【図5】(a)～(c)は本発明の好適な実施例で用いられるブール集合演算を示した図である。

【図6】本発明の好適な実施例で使用する物質ソリッドを表すためのハーフエッジデータ構造を示した図である。

【図7】本発明の好適な実施例で使用する隣接頂点とフェースとを示した図であり、(a)は本発明の好適な実施例内でシミュレートされる多層/多物質ウェハ構造とエアソリッドとを示した図であり、(b)は(a)のウェハ構造とエアソリッドとの分解図である。

【図8】(a)、(b)は本発明の好適な実施例で作られる付加ソリッドの出来上り形状を示した図である。

【図9】本発明の好適な実施例で使用するオブジェクトソリッドの多角形フェースの三角形化のステップの概要を示すフローチャートである。

【図10】(a)～(e)は本発明の好適な実施例で 사용되는多角形(ここでは四角形の孔をもつ四角形)の三角形化を示した図である。

【図11】(a)～(f)は本発明の好適な実施例で 使用される、図9の三角形化処理でなされるグリッド調整を示した図である。

【図12】(a)～(d)は本発明の好適な実施例で 使用されるデポジションプロセスステップを示した図であり、このデポジションプロセスステップは、ブール集合演算を用いて、既存の物質に加えたり、新しい物質ソリッドを加えたりする。

【図13】(a)～(d)は本発明の好適な実施例で 使用される、ブール集合演算を用いたエッチングプロセスステップを示した図である。

【図14】本発明の好適な実施例で 使用される、デポジション速度またはエッチング速度を決定するための3次元統一方程式(unified equation)の変数のコンテキストを示した図である。

【図15】(a)、(b)は頂点移動のための効率的な方法を用いる場合に、処理される平面の数を減らすための平面削減法を示した図であり、これは本発明の好適な実施例で使用される。

【図16】頂点移動のための効率的な方法を用いる場合に、処理される平面の数を減らすための平面削減法を示した図であり、これは本発明の好適な実施例で使用され

る。

【図17】(a)、(b)は本発明の好適な実施例で 実施される平面削減法を示した図であり、削減の結果、3平面より少なくなる場合である。

【図18】本発明の好適な実施例で 実施される平面削減法を示した図であり、削減の結果、3平面より少なくなる場合である。

【図19】本発明の好適な実施例で 使用される、頂点移動の位置を決める効率的な方法を示すフローチャートである。

【図20】(a)、(b)は本発明の好適な実施例で 使用される、頂点移動の位置を決める効率的な方法を示した図である。

【図21】(a)、(b)本発明の好適な実施例で 使用される、頂点移動の位置を決める効率的な方法を示した図である。

【図22】(a)は1頂点における隣接平面の移動と、その結果得られた交差構造とを示した図であり、

(b)、(c)は本発明の好適な実施例で 使用される、頂点移動の位置を決める高精度な方法を示した図である。

【図23】本発明の好適な実施例で 使用される、頂点移動の位置を決める高精度な方法を示すフローチャートである。

【図24】(a)～(c)は本発明の好適な実施例で 使用される、頂点移動の位置を決める高精度な方法を示した図である。

【図25】本発明の好適な実施例で 使用される、異なるエッチング速度で、2物質の界面で行われる頂点移動の方法を示すフローチャートである。

【図26】(a)、(b)は本発明の好適な実施例で 使用される、異なるエッチング速度で、2物質の界面で行われる頂点移動を2次元で示した例を示す図である。

【図27】(a)～(d)は本発明の好適な実施例で 使用される、異なるエッチング速度で、2物質の界面で行われる頂点移動を2次元で示した例を示す図である。

【図28】(a)～(c)は本発明の好適な実施例で 実行される、分割界面頂点の移動ベクトルの演算を2次元で示した図である。

【図29】(a)～(c)は本発明の好適な実施例で 実行される、界面頂点の移動ベクトルの演算を例示する2次元の例を示した図である。

【図30】(a)～(c)は本発明の好適な実施例で 実行される、界面頂点の移動ベクトルの演算を例示する2次元の例を示した図である。

【図31】(a)～(d)は本発明の好適な実施例で 実行される、界面頂点の移動ベクトルの演算を3次元で示した図である。

【図32】(a)、(b)は本発明の好適な実施例で 実行される、パーティクルフラックスシャドウイング演算

で用いられる半球メッシュを示した図であり、(c)は本発明の好適な実施例で実行される、パーティクルフラックスシャドウイング演算で用いられる平面メッシュを示した図であり、(d)は本発明の好適な実施例で実行される、シャドウ内のメッシュ点を決定するための基本的な方法を示した図である。

【図33】本発明の好適な実施例で実行される、シャドウ内のメッシュ点を決定するための効率的な方法を示した図である。

【図34】本発明の好適な実施例で実行される、パーティクルフラックスシャドウイングのステップを説明するためのフローチャートである。

【図35】(a), (b)は図32(a)を参照して説明したパーティクルフラックスシャドウイングの方法を示した図である。

【図36】本発明の好適な実施例で実行される、シャドウメッシュ点をターンオフするステップを説明するフローチャートである。

【図37】(a)～(f)は図36を参照して説明したシャドウメッシュ点をターンオフする方法を示した図である。

【図38】(a), (b)はソリッド構造を示した図で、頂点移動によって無効自己交差構造となる場合である。

【図39】(a), (b)は本発明の好適な実施例で実行される、自己交差構造を作らないサーフェススイーピング法を示した図である。

【図40】(a), (b)は原座標点および前進(advanced)座標点と、ソリッドサーフェス上で移動された三角形に対応する結果ソリッドとを示した図であり、これは本発明の好適な実施例で使用される。

【図41】デポジションおよびエッチングが同時に行われた場合の、サーフェススイーピングのステップを説明するフローチャートであり、本発明の好適な実施例で実行されるものを示す。

【図42】(a), (b)は本発明の好適な実施例で 사용되는オブジェクトソリッドを、そのフェースおよびこれらのフェースに対応する仮デポジションおよびエッチングソリッドとともに示した図である。

【図43】(a), (b)は図42(a)に例示したオブジェクトソリッドにおける、フェースに対応するデポジションソリッドの作製を示した図であり、本発明の好適な実施例で使用されるものを示す。

【図44】(a), (b)は図42(a)に例示したオブジェクトソリッドにおける、フェースに対応するエッチングソリッドの作製を示した図であり、本発明の好適な実施例で使用されるものを示す。

【符号の説明】

101 形状

102 形状

103 頂点

104 頂点

105 点

106 点

107 凸面交差点

108 凸面交差点

109 対応点

110 対応点

121 形状

122 形状

123 点

124 点

125 頂点

126 頂点

127 対応点

128 対応点

129 凸面交差点

130 凸面交差点

141 形状

142 形状

143 面

144 面

145 面

146 面

150 メタル線

151 層

152 層

153 層

154 ボイド

201 バス

202 プロセッサ

203 RAM

204 ROM

205 キーボード

206 カーソル制御

207 データ記憶装置

208 表示装置

209 ハードコピー装置

301 オブジェクトソリッド

302 オブジェクトソリッド

303 エアソリッド

321 フロントエンドユーザインターフェース

322 ソリッドモデラシステム

323 サーフェス移動

324 三角形化およびグリッド調整

325 フラックスシャドウイングモデル

326 グラフィックス

501 ソリッド

502 ソリッド

503 ブール和

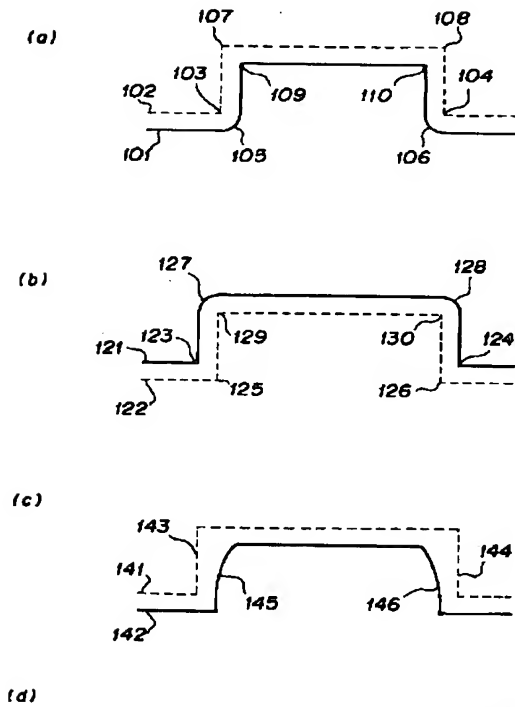
- 504 ブール積
- 505 ブール差
- 601 ソリッド構造
- 602 フェース構造
- 603 エッジ構造
- 604 頂点構造
- 605 ループ構造
- 606 ハーフエッジ構造
- 607 隣接頂点構造リスト
- 608 物質情報構造
- 609 隣接フェース構造
- 610 隣接エッジ構造リスト
- 615~617 ポインタ
- 701 シリコンソリッド
- 702 酸化層
- 704 金属層
- 705 エア層
- 706 フェース
- 707 フェース
- 708 頂点
- 709 頂点
- 710 最初の物質ソリッド
- 711 既存の基板
- 712 物質ソリッド
- 821 外側ループ
- 822 内側ループ
- 823 頂点ポイント
- 824 頂点ポイント
- 825 新エッジ
- 826 新エッジ
- 827 頂点ポイント
- 828 頂点ポイント
- 829 第2の新エッジ
- 830 エッジ
- 831 三角形
- 832 多角形
- 901 エッジ
- 902 頂点ポイント
- 903 新エッジ
- 904 新エッジ
- 905 隣接頂点ポイント
- 906 隣接頂点ポイント
- 910 短エッジ
- 911 頂点ポイント
- 912 頂点ポイント
- 913 エッジ
- 914 エッジ
- 920 エッジ
- 921 三角形
- 922 頂点ポイント
- 923 頂点ポイント
- 924 新エッジ
- 1001 物質
- 1002 エアソリッド
- 1003 新エアソリッド
- 1004 新物質
- 1005 物質
- 1051 物質1のソリッド
- 1052 物質2のソリッド (最上層)
- 1053 エアソリッド
- 1054 新エアソリッド
- 1055 新物質1
- 1056 新物質2
- 1101 計算点
- 1102 水平面
- 1103 水平軸
- 1104 垂直軸
- 1105 サーフェス法線
- 1106 粒子線 (の入射方向)
- 1107 角 $\theta$
- 1108 角 $\theta_S$
- 1109 角 $\psi_S$
- 1110 角 $\psi$
- 1111 延長線
- 1201 頂点ポイント
- 1202~1205 隣接平面
- 1206~1209 エッジ
- 1210 頂点ポイント
- 1211 エッジ
- 1213 頂点ポイント
- 1214 交差点
- 1215~1218 平面
- 1219 新エッジ
- 1230 頂点ポイント
- 1231~1234 隣接平面
- 1235~1238 平面
- 1239 頂点ポイント
- 1240 頂点
- 1241, 1242 交差点
- 1351 頂点ポイント
- 1352~1354 平面
- 1355 単位ベクトル
- 1356 線AR
- 1357~1359 サーフェス法線
- 1360 点R
- 1372~1374 平面
- 1375 観測点Q
- 1376 第1観測ベクトル
- 1377 点
- 1380 仮想平面

- 1390 バー
- 1391 最遠の交差点
- 1401~1404 サーフェス
- 1405 頂点ポイント
- 1406~1410 トラジェクトリ
- 1440~1445 サーフェス平面
- 1446 前進サーフェス
- 1447 サーフェス
- 1448 前進サーフェス
- 1449 交差エリア
- 1450, 1451 端点
- 1452, 1453 トラジェクトリポイント
- 1454 エッジ
- 1460, 1461 サーフェス
- 1462 無効セクション
- 1463 無効セクション
- 1464 交差
- 1470 頂点
- 1471 テスト平面
- 1472 頂点ポイント1470のトラジェクトリ
- 1473 サーフェス平面
- 1474 2次元組合せ解
- 1520 界面頂点
- 1521 物質A 1522 物質B
- 1523, 1524 頂点
- 1525 界面頂点
- 1526 移動界面頂点
- 1527, 1528 分割界面頂点
- 1529 対応移動ベクトル
- 1530 分割界面移動ベクトル
- 1531 移動界面ベクトル
- 1532 分割界面移動ベクトル
- 1533 対応移動ベクトル
- 1534, 1535 破線
- 1536, 1537 移動ベクトル
- 1538 破線
- 1539 頂点ポイント
- 1540 垂直平面
- 1541, 1542 実サーフェス平面
- 1543 垂直平面
- 1544 頂点
- 1545, 1546 実サーフェス平面
- 1547 垂直平面
- 1548 移動ベクトル
- 1549 垂直平面
- 1550 移動ベクトル
- 1551~1553 水平三角形セグメント
- 1554~1556 垂直三角形セグメント
- 1557~1559 水平三角形セグメント
- 1560 移動界面頂点
- 1561 分割界面頂点
- 1562 点
- 1563, 1564 界面エッジベクトル
- 1565 垂直平面
- 1566 移動ベクトル
- 1567 垂直平面
- 1568 移動ベクトル
- 1570, 1571 移動ベクトル
- 1640 ターゲット点
- 1641 多角形
- 1642~1647 メッシュ点
- 1648 メッシュ点
- 1650 ソース平面メッシュ点
- 1651 三角形フェース
- 1652 ソース平面メッシュ
- 1654~1658 メッシュ点
- 1680 半球メッシュ
- 1681 角 $\phi$
- 1682 平面メッシュ
- 1683 角 $\theta$
- 1684 メッシュ
- 1685 メッシュ点
- 1686 ソリッド
- 1687 メッシュ
- 1688 ソリッド
- 1689 ターゲット点
- 1690 一連のメッシュ点
- 1691, 1692 三角形
- 1670a メッシュ
- 1670b 多角形
- 1671~1674 頂点ポイント
- 1675 原点
- 1676~1679 三角形
- 1701 オブジェクト
- 1702 首
- 1703~1714 頂点ポイント
- 1723~1734 頂点ポイント
- 1801 第1の平行四辺形
- 1802 第2の平行四辺形
- 1803, 1804 ソリッド
- 1901 ソリッドサーフェス
- 1902~1907 頂点ポイント
- 1908~1910 対角線
- 1911 スイープソリッド
- 2101 オブジェクトソリッド
- 2102 フェース
- 2103 仮エッチングソリッド
- 2104 仮デポジションソリッド
- 2105, 2106 隣接フェース
- 2107 仮エッチングソリッド

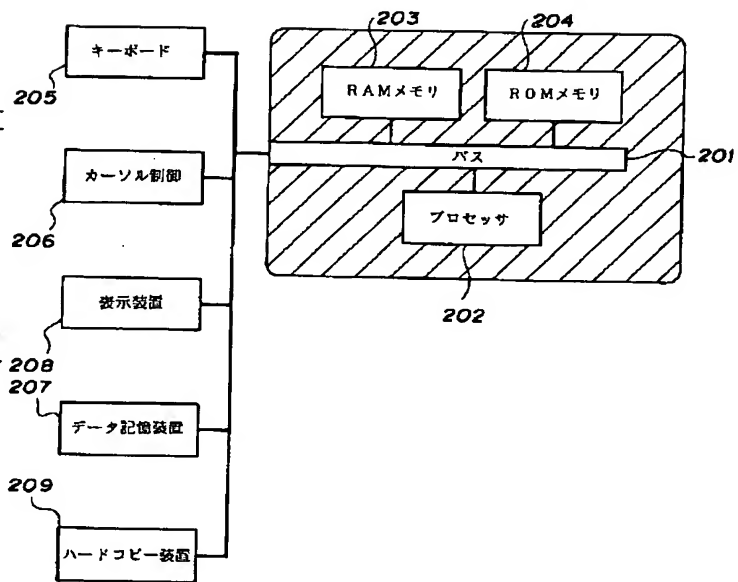
2108 仮デポジションソリッド  
 2201 中間デポジションソリッド  
 2202 デポジションソリッド

2301 中間エッチングソリッド  
 2302 エッチングソリッド

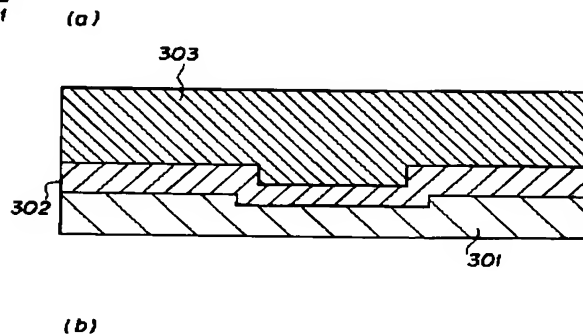
【図1】



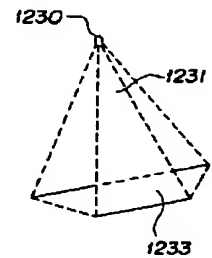
【図2】



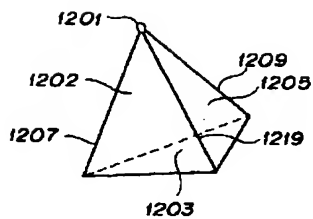
【図3】



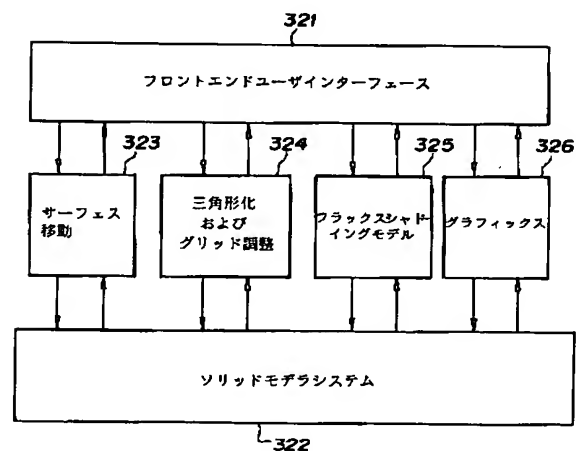
【図18】



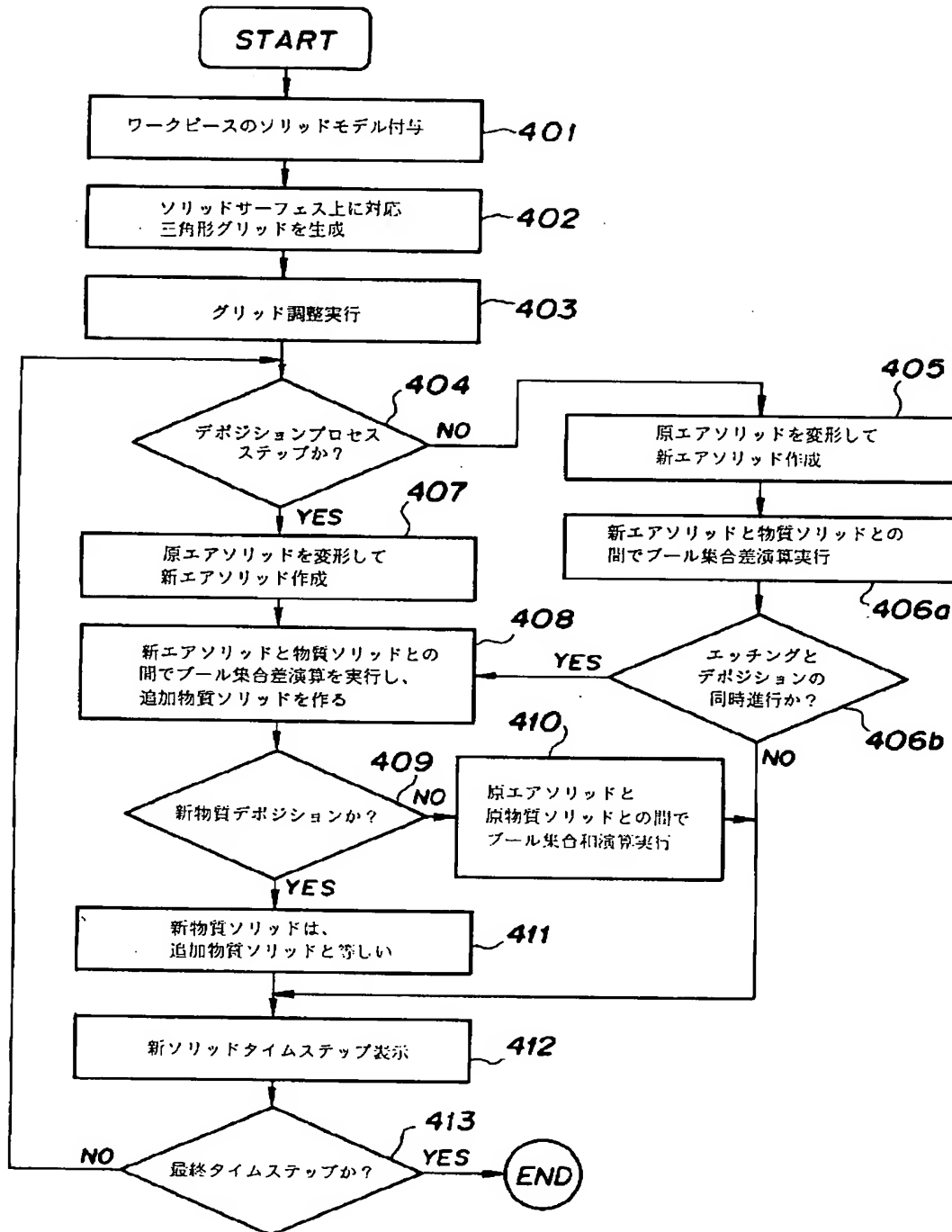
【図16】



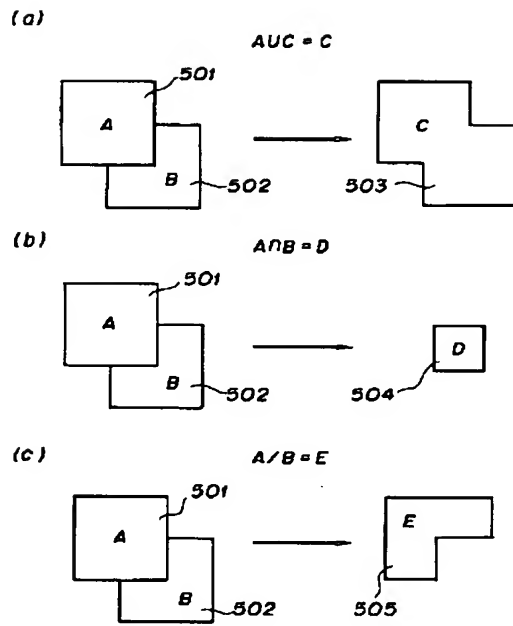
(b)



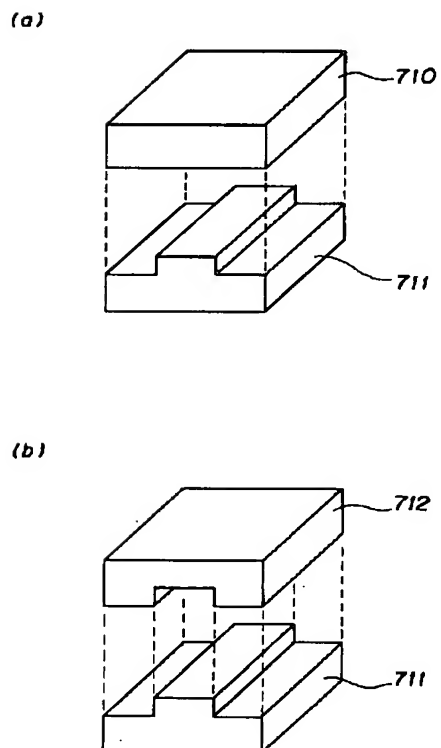
【図4】



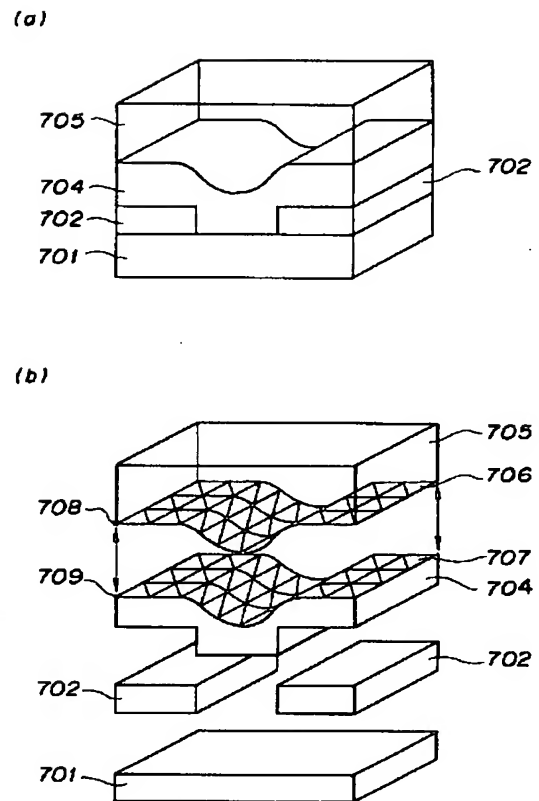
【図5】



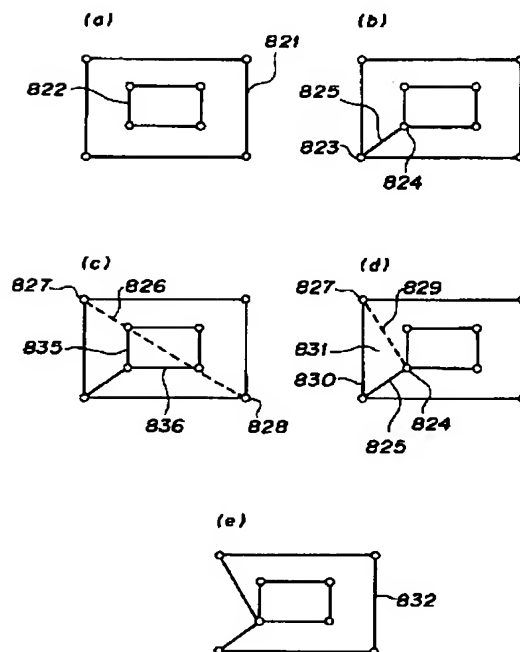
【図8】



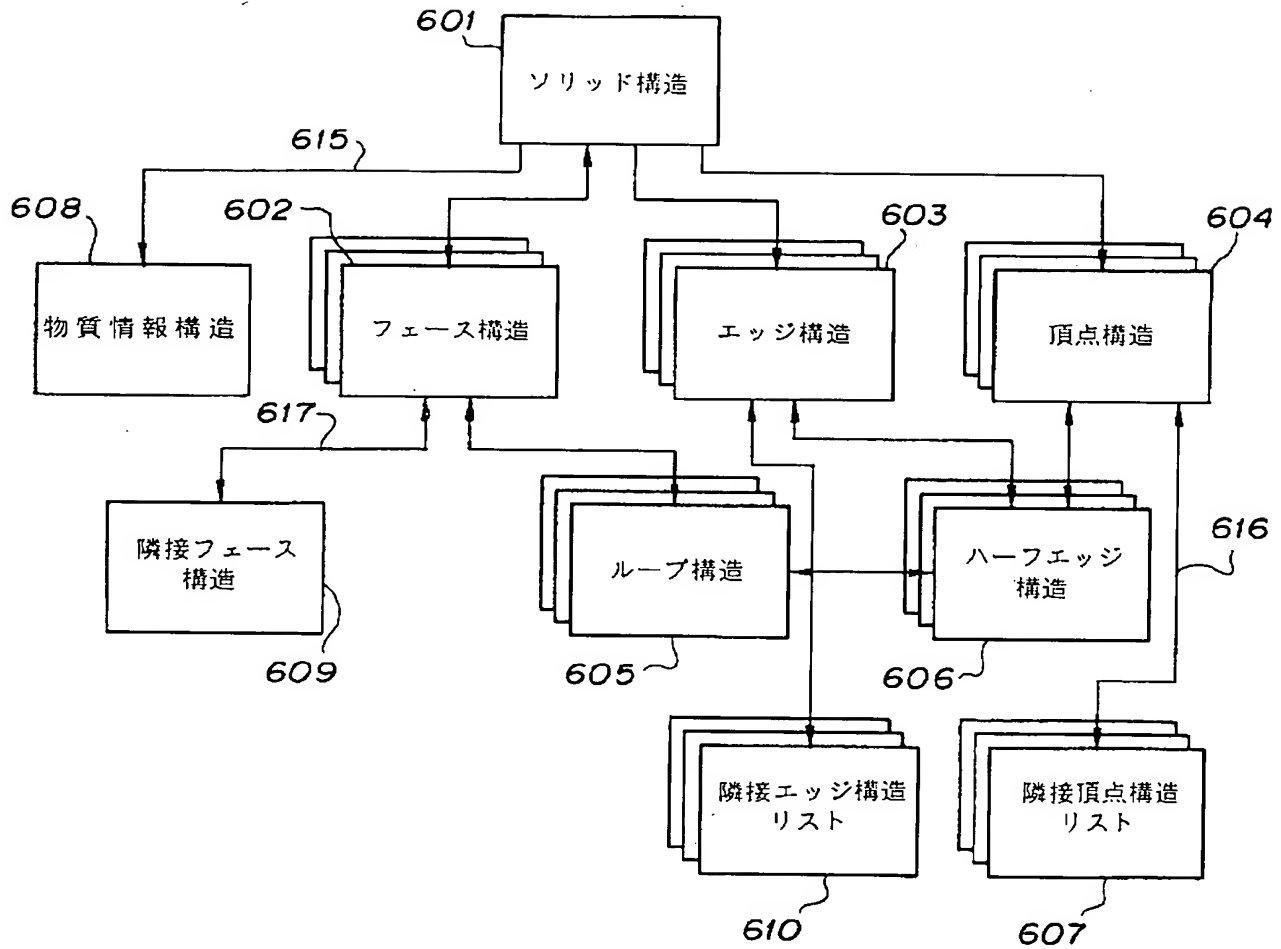
【図7】



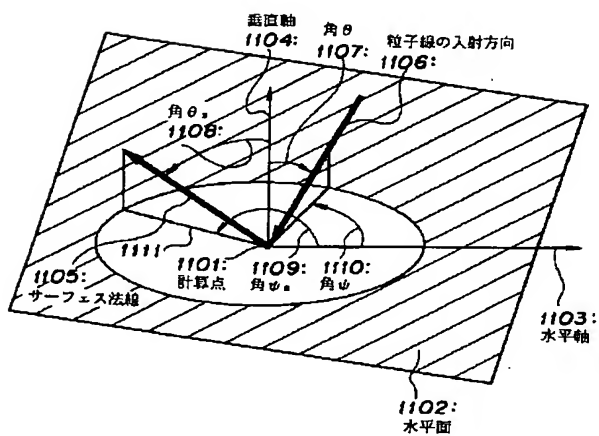
【図10】



【図6】

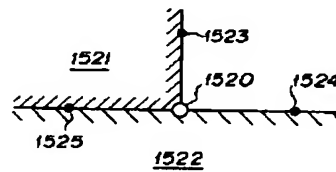


【図14】

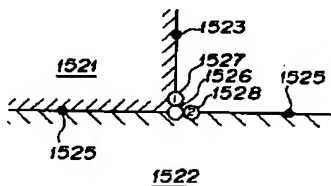


【図26】

(a)

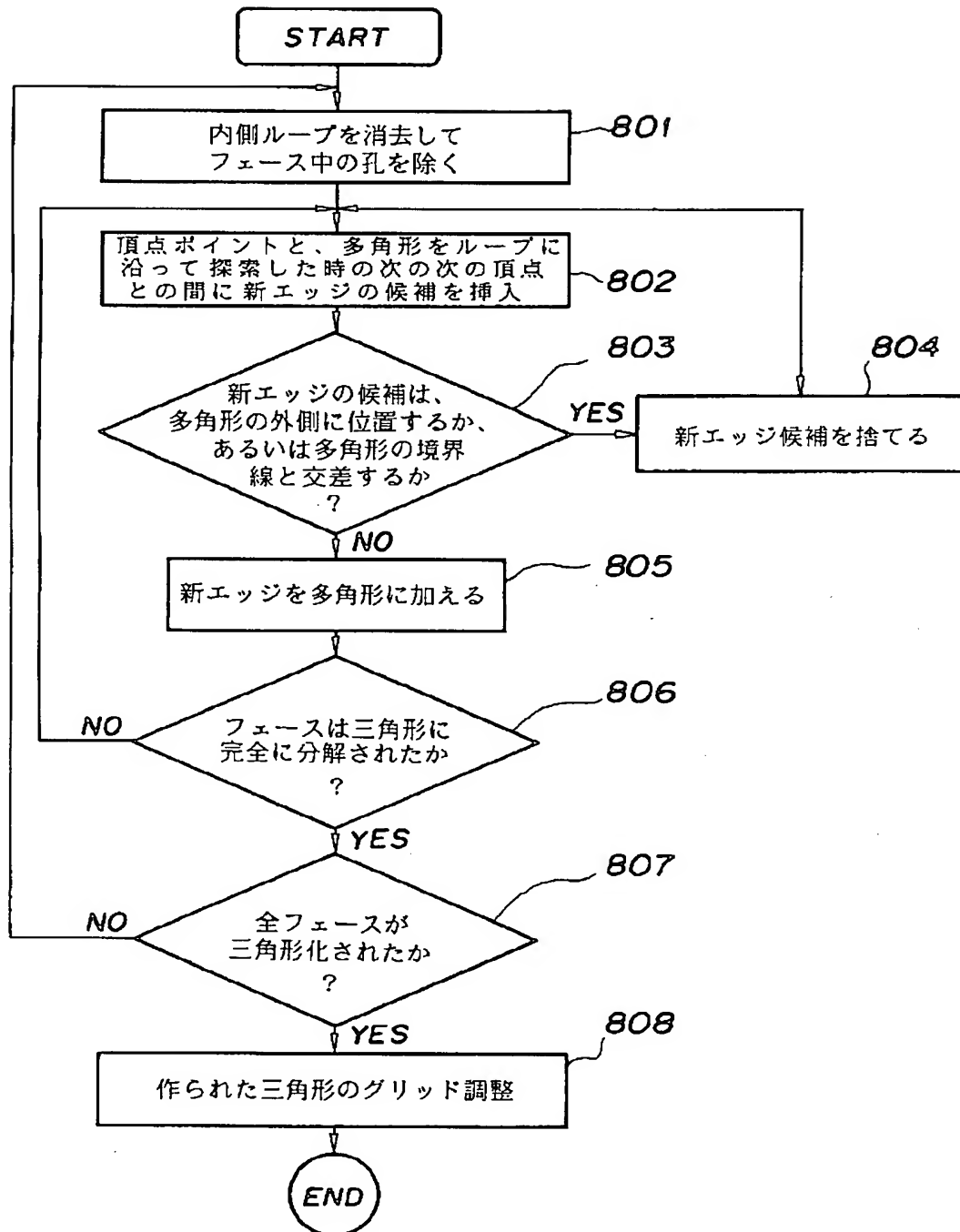


(b)

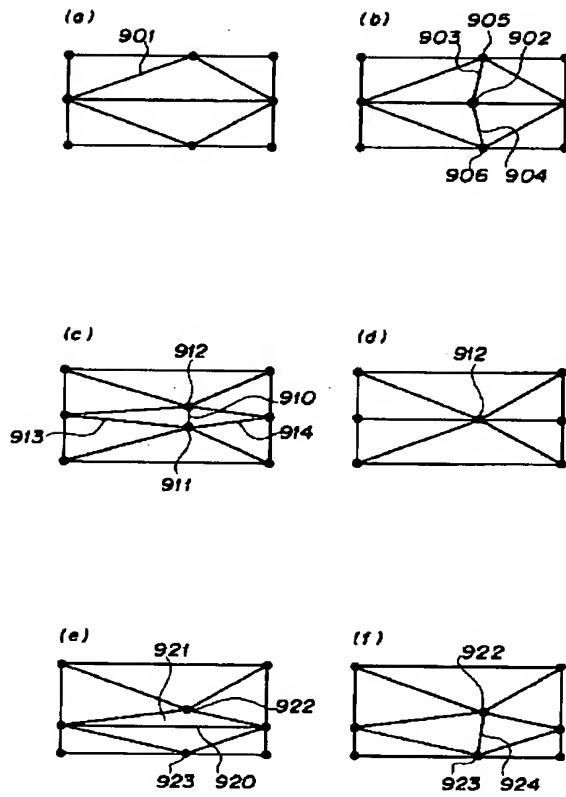




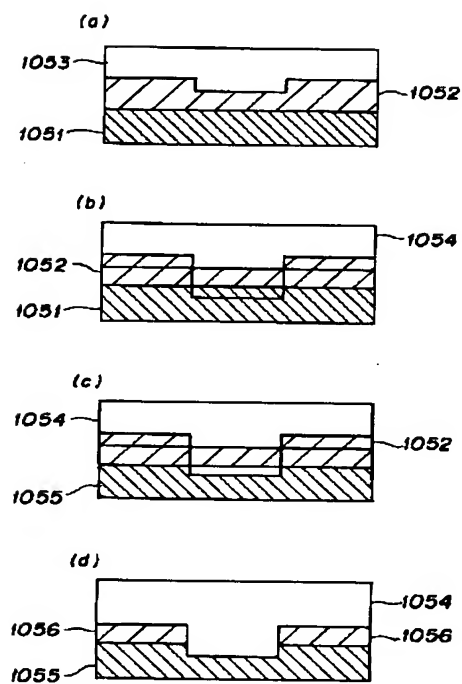
【図9】



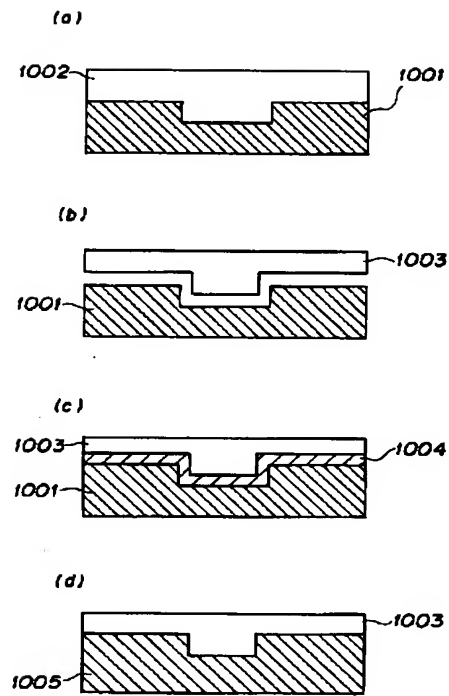
【図11】



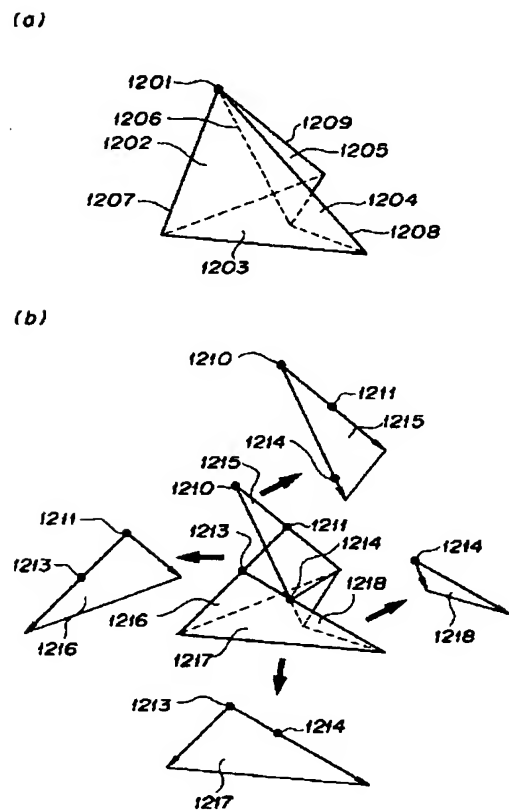
【図13】



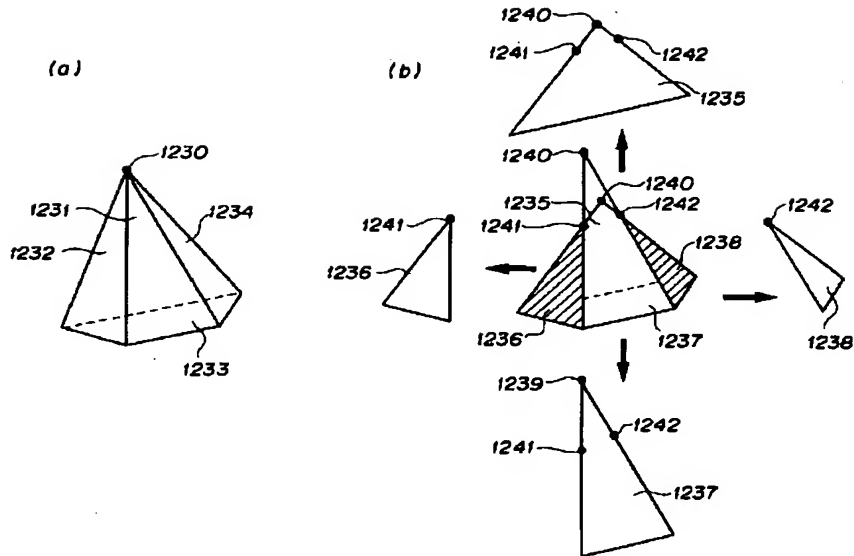
【図12】



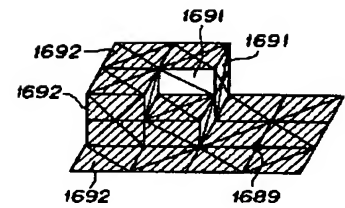
【図15】



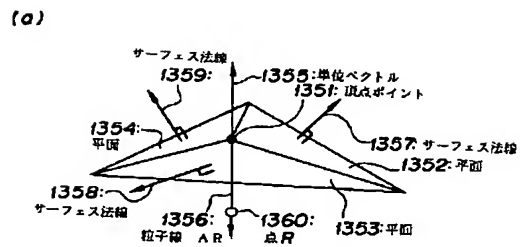
【図17】



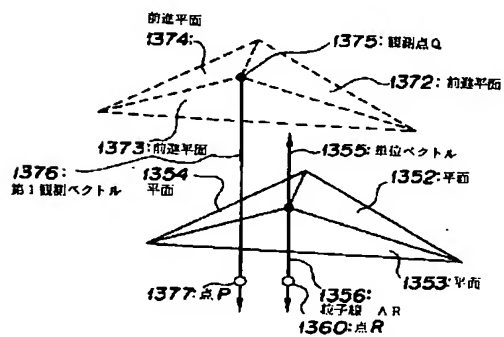
【図33】



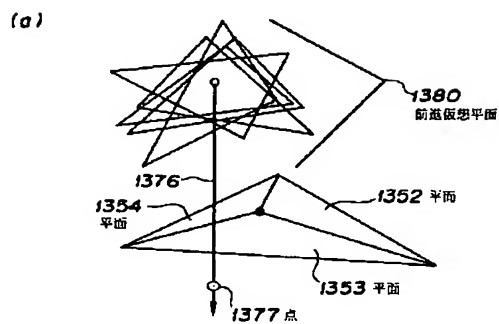
【図20】



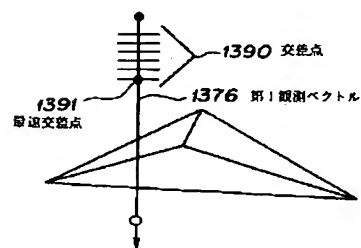
(b)



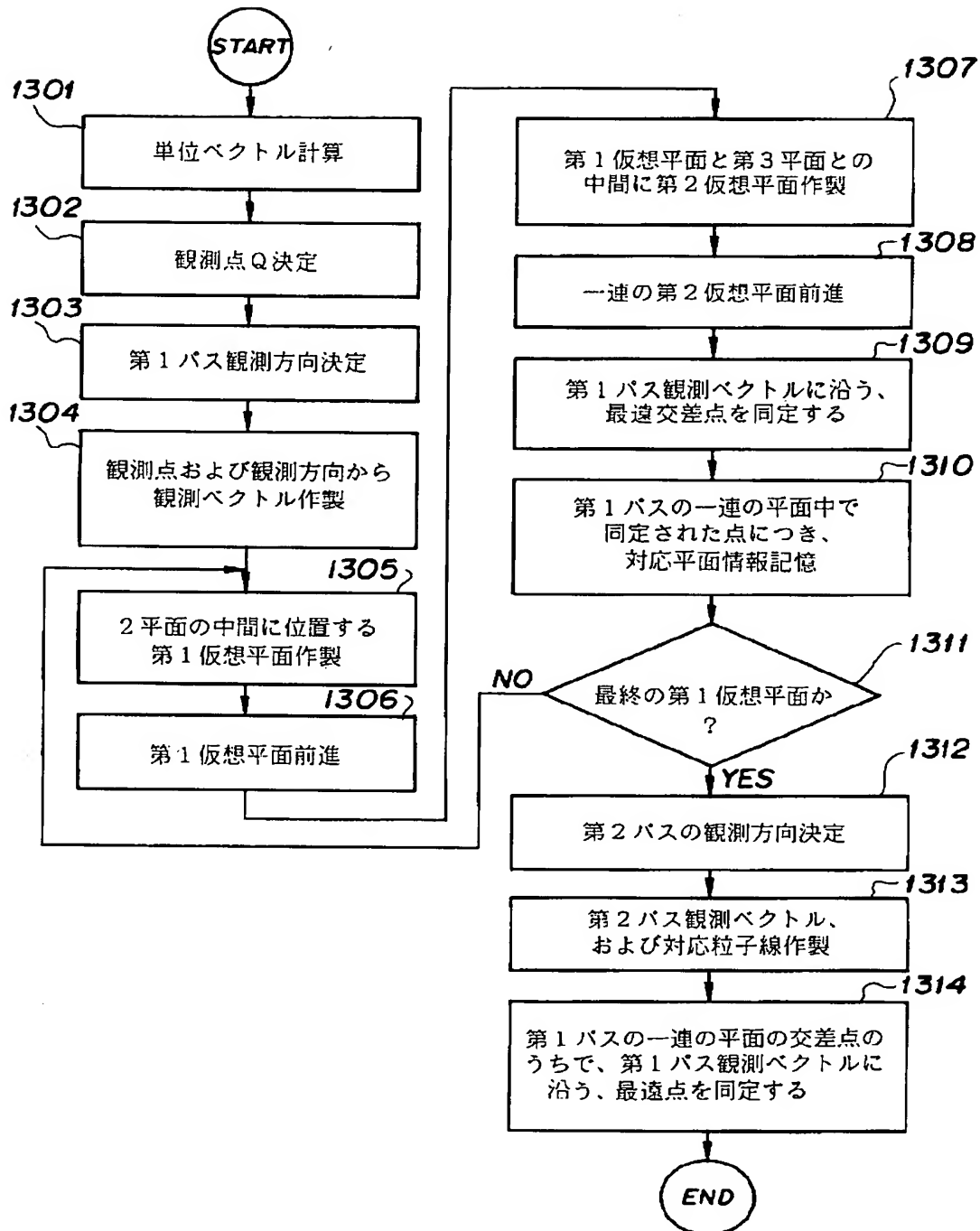
【図21】



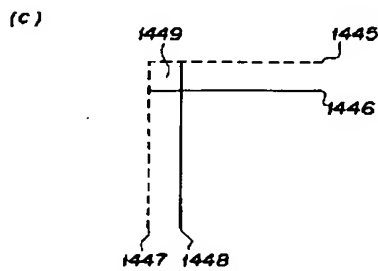
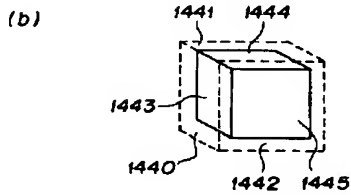
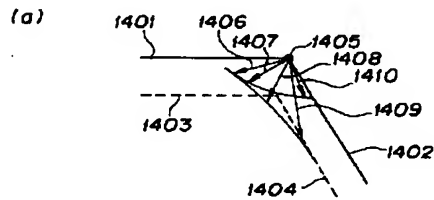
(b)



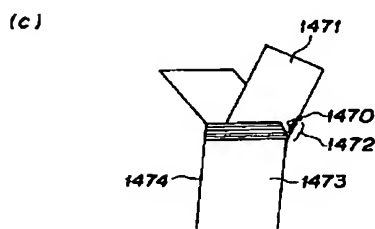
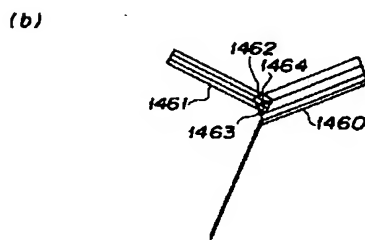
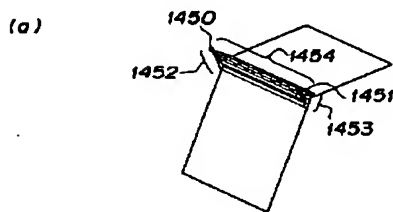
【図19】



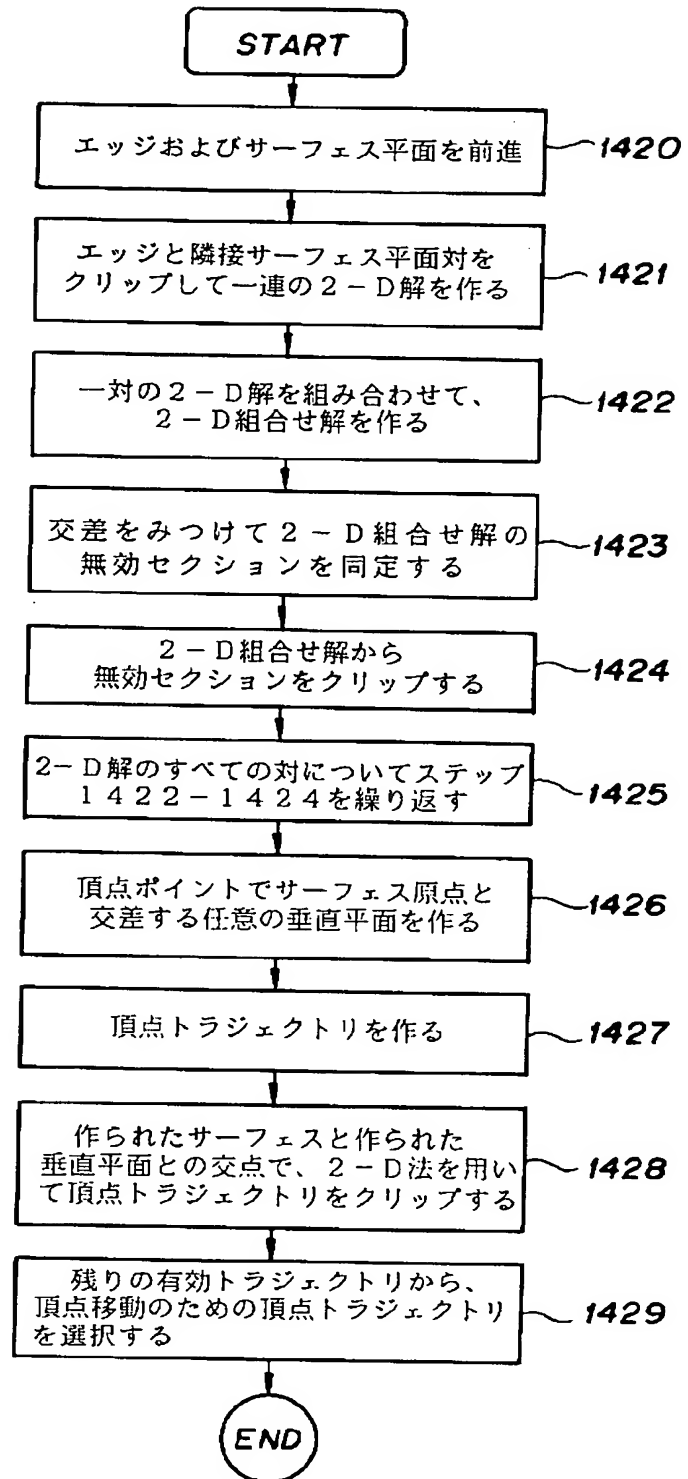
【図22】



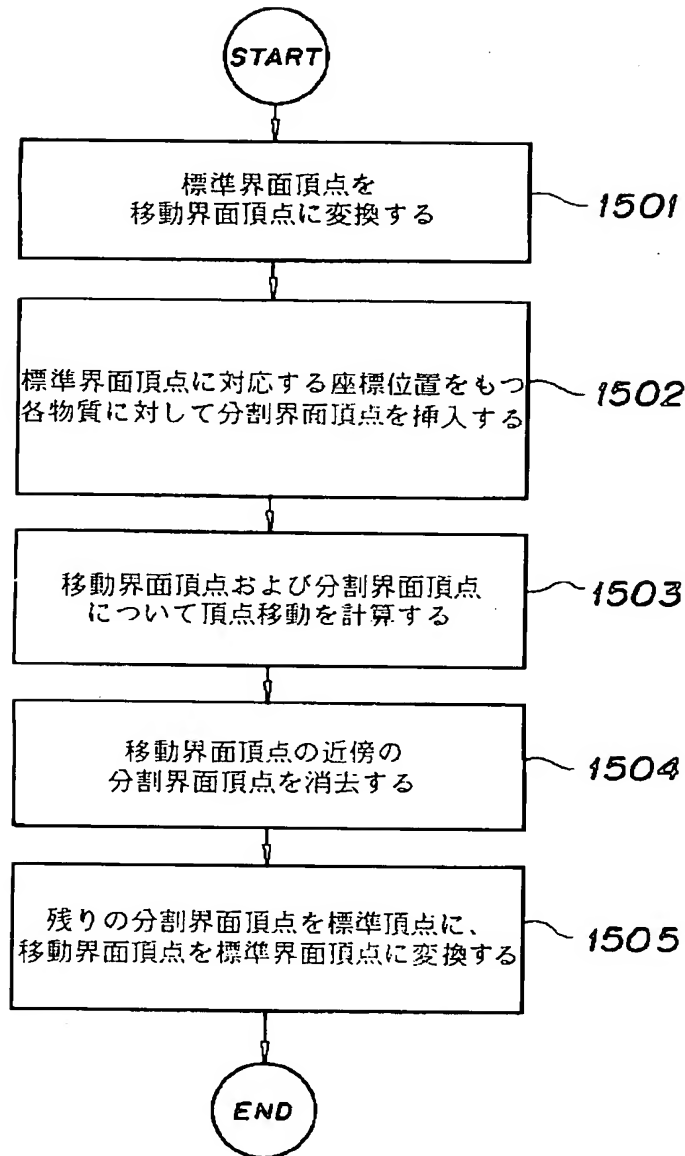
【図24】



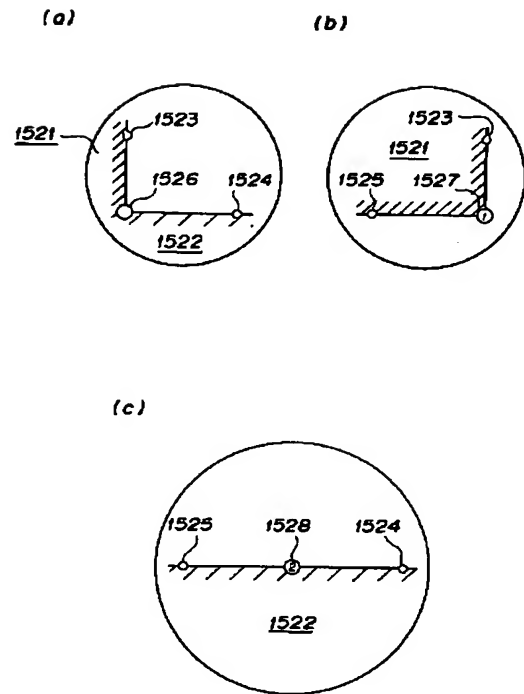
【図23】



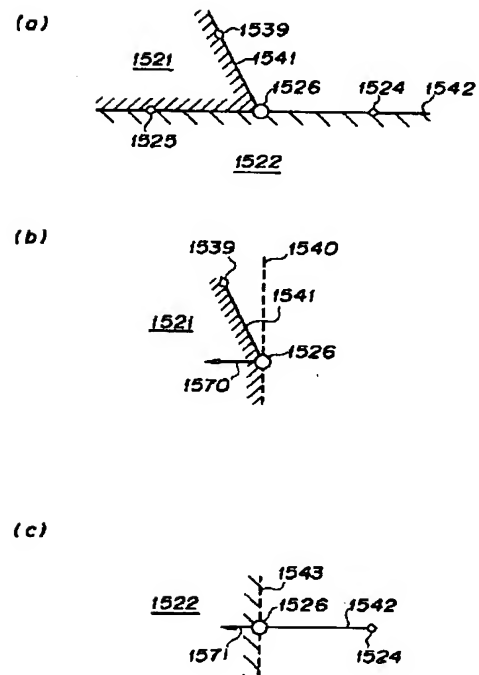
【図 25】



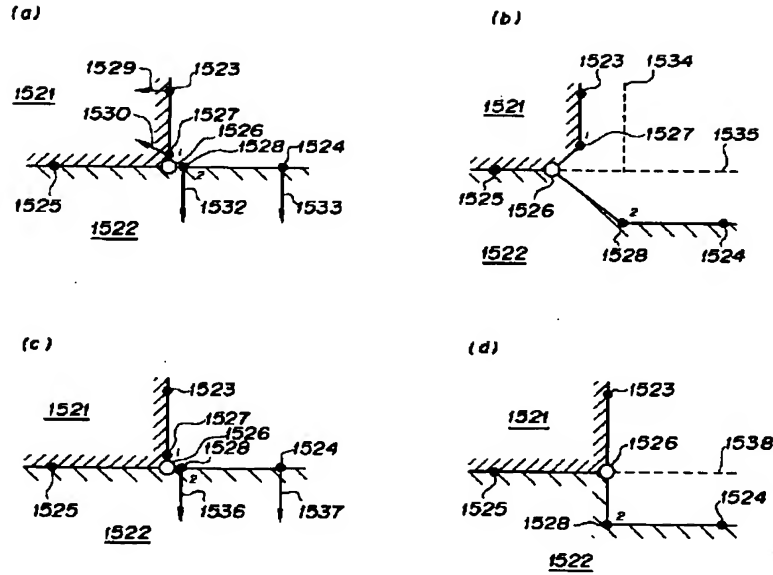
【図 28】



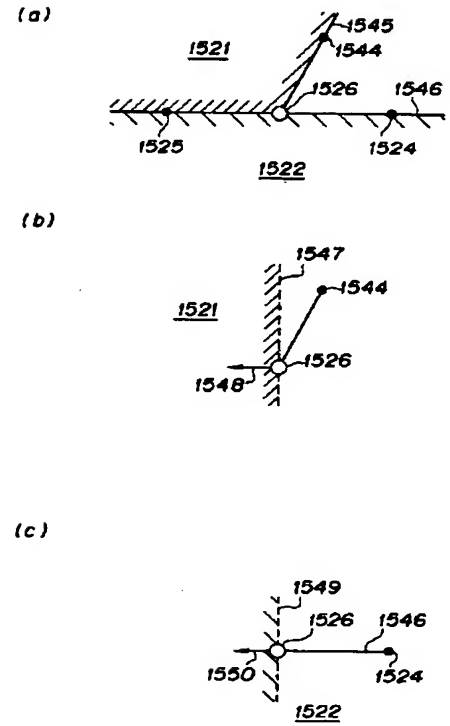
【図 29】



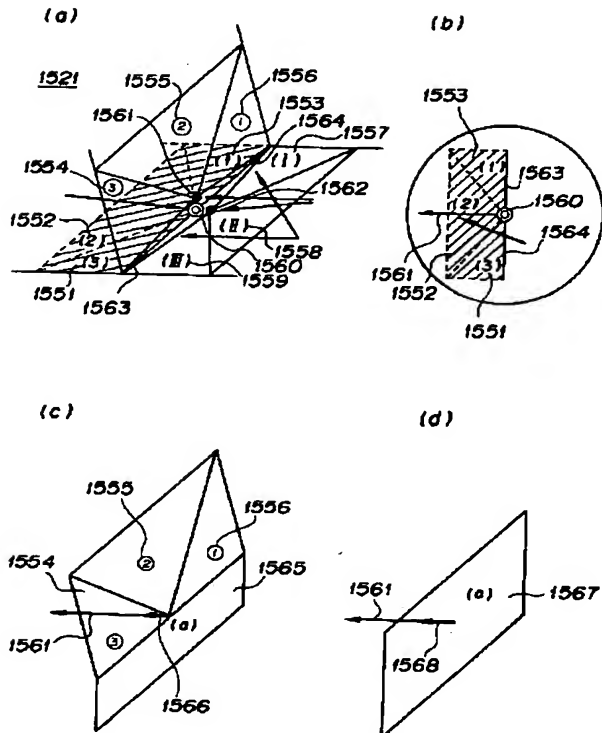
【図27】



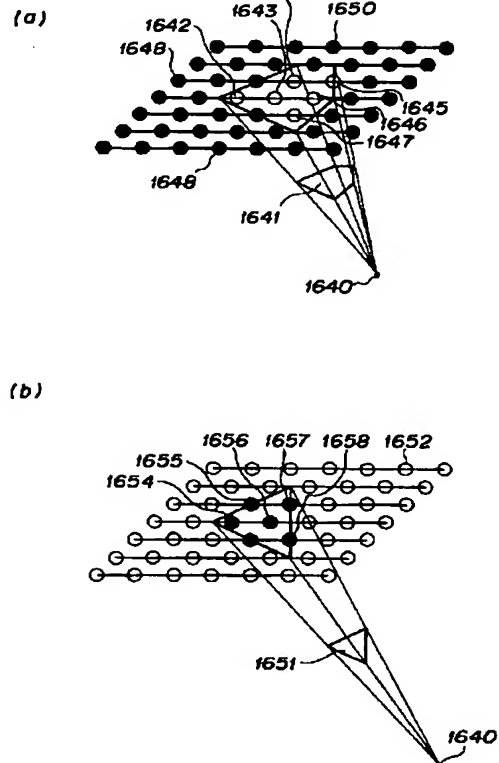
【図30】



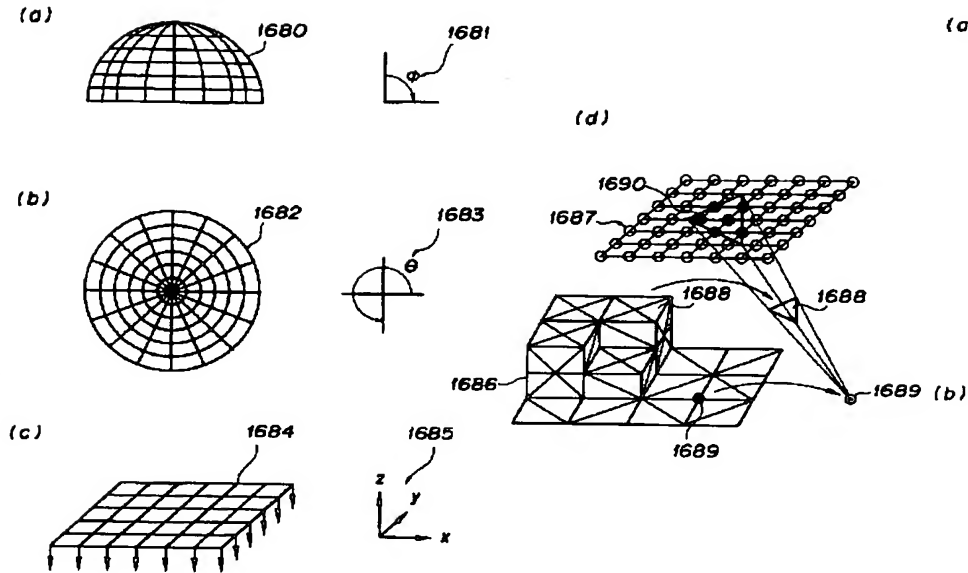
【図31】



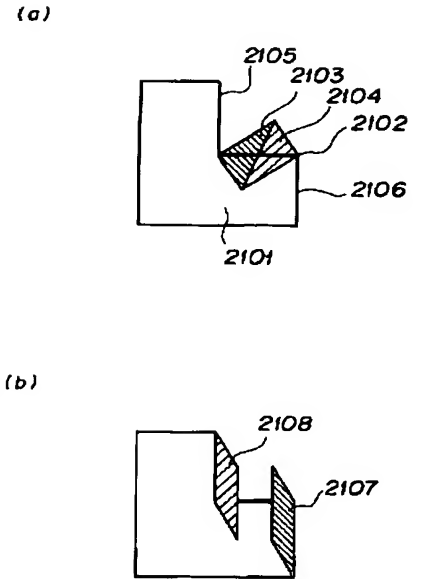
【図35】



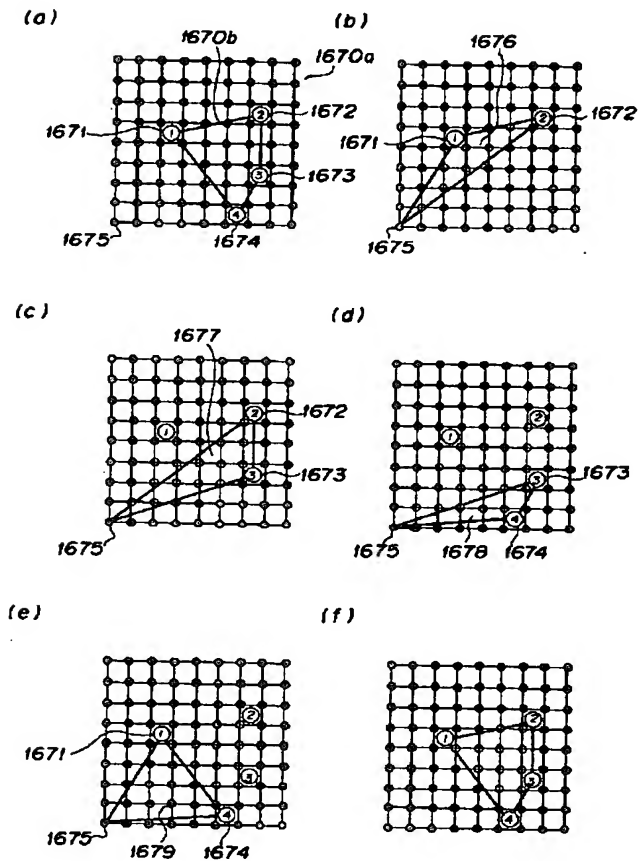
【図32】



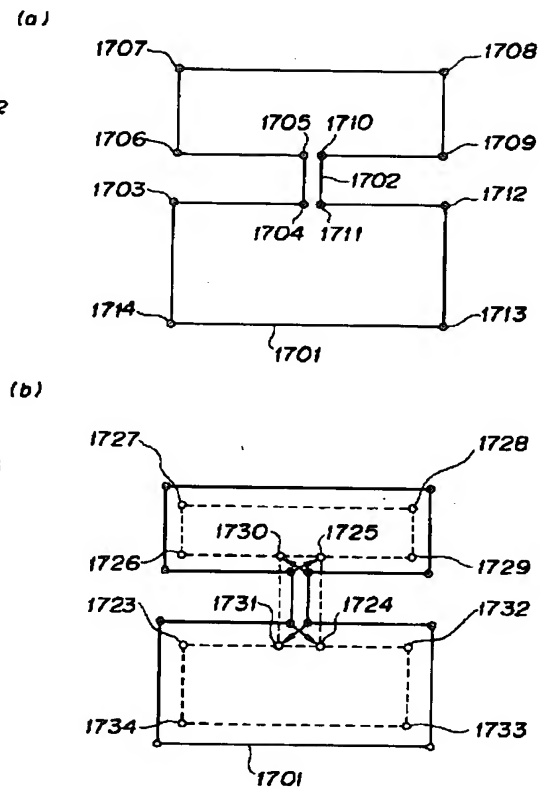
【図42】



【図37】

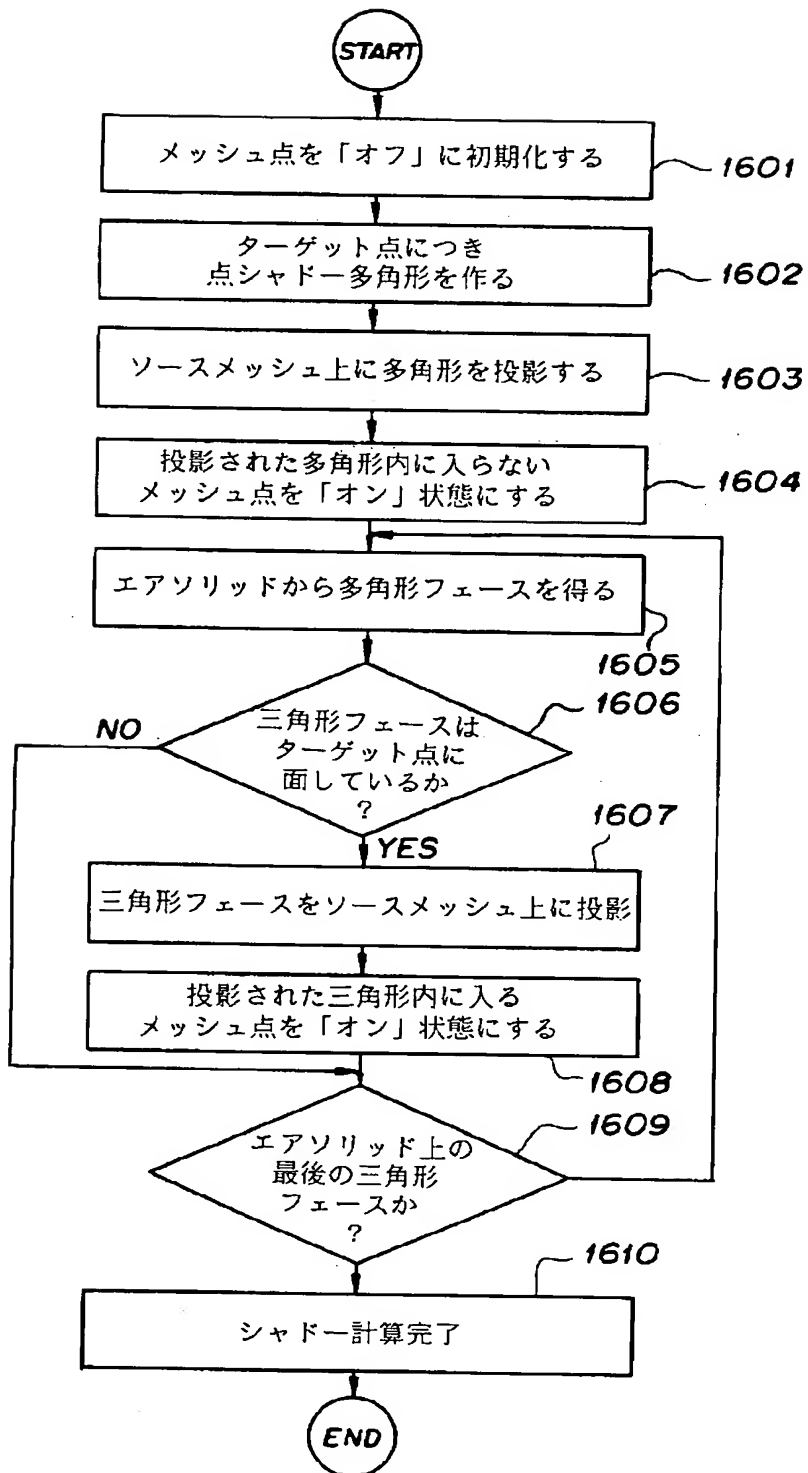


【図38】



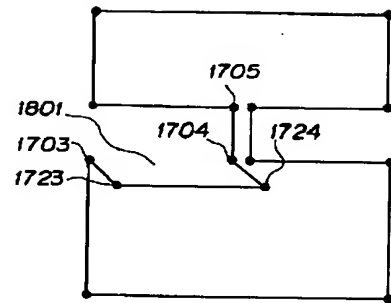


【図34】

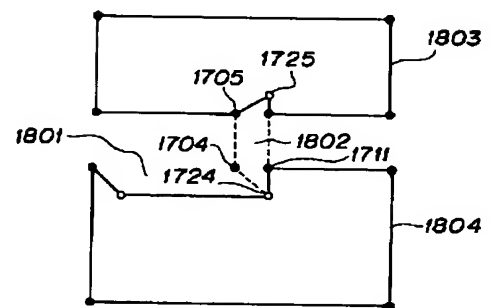


【図39】

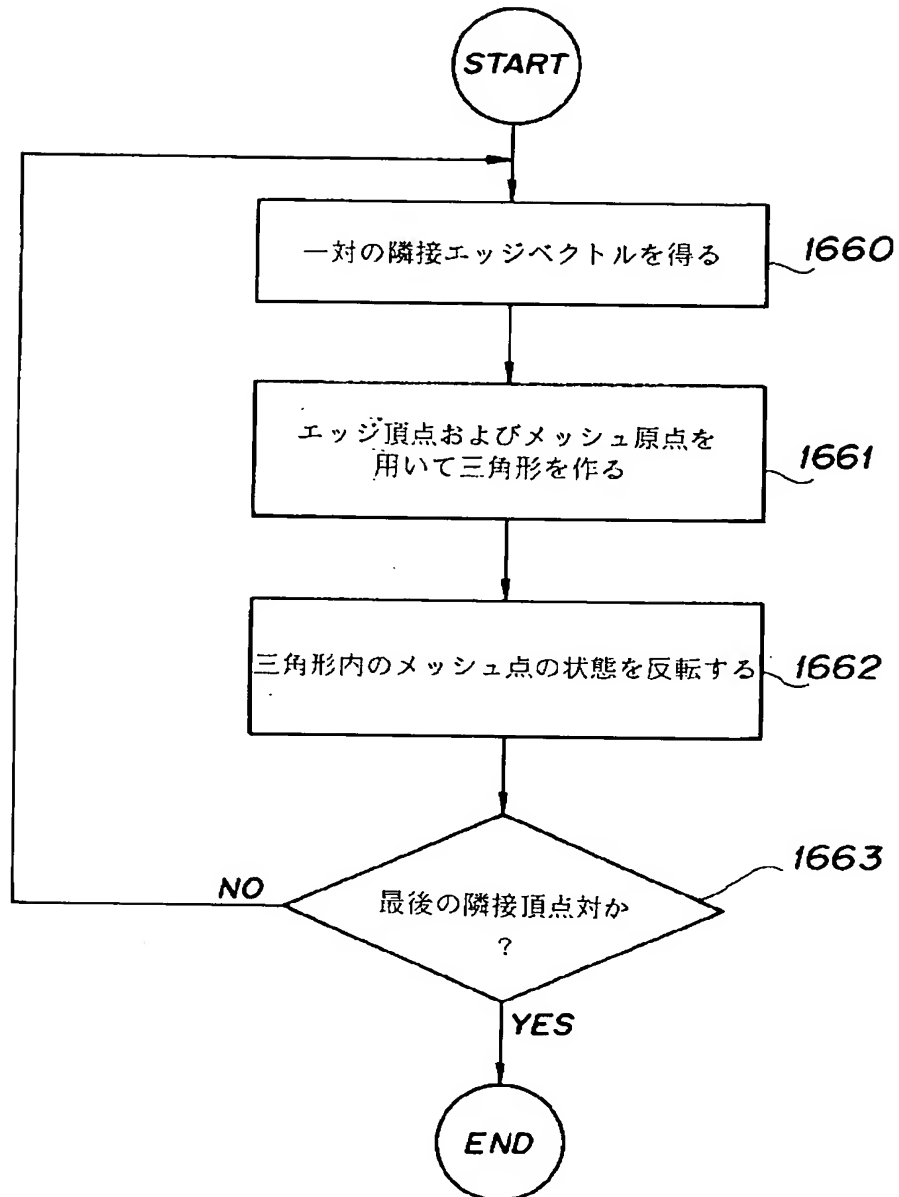
(a)



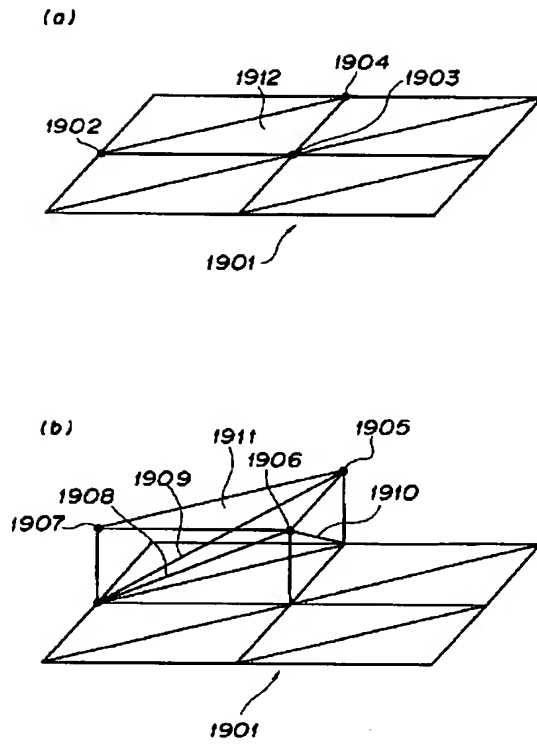
(b)



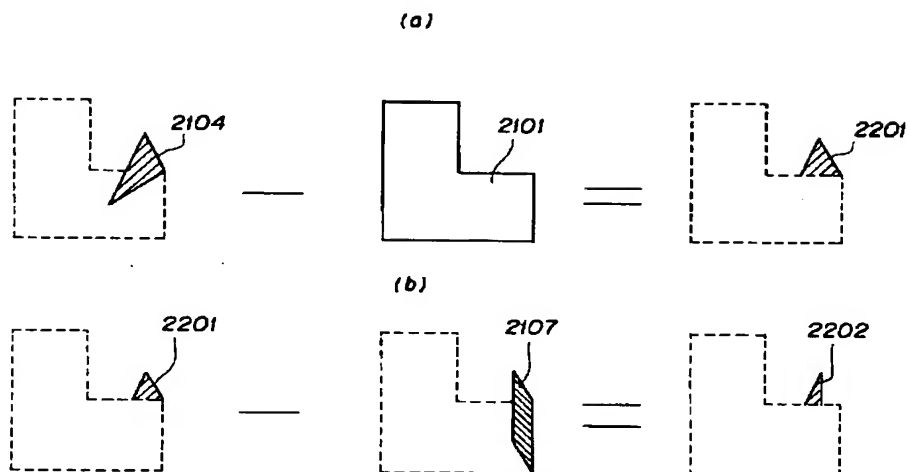
【図36】



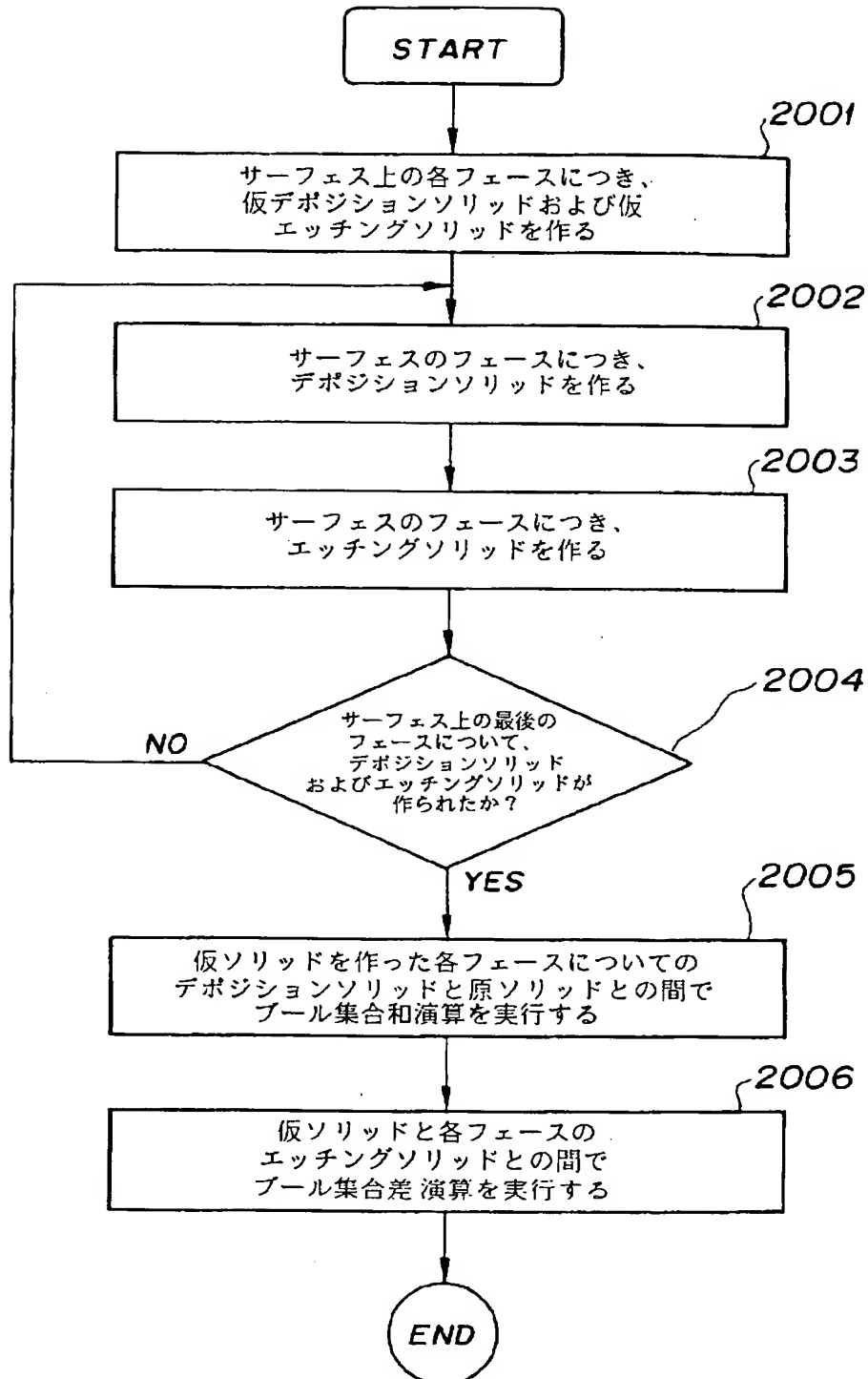
【図40】



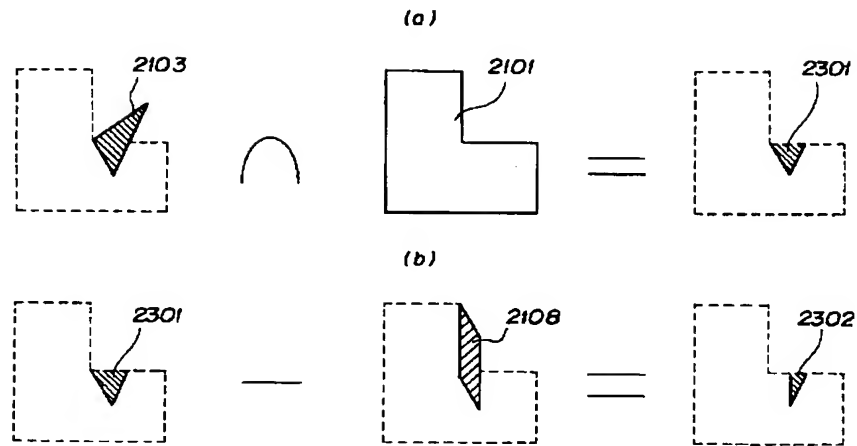
【図43】



【図41】



【図44】



フロントページの続き

(72)発明者 斎藤 和之  
 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
 本電信電話株式会社内

(72)発明者 フランシスコ エイ. レオン  
 アメリカ合衆国 94043 カリフォルニア  
 州 マウンテン ビュー サン マルコス  
 サークル 948